РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 05.02.03 ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

от «19» ноября 2019 г. № 7

о присуждении Семененко Сергею Игоревичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка алгоритмов размещения синхронизированных векторных измерений для повышения эффективности оценивания состояния ЭЭС» по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы принята к защите диссертационным советом УрФУ 14 октября 2019 г. протокол № 4.

Соискатель, Семененко Сергей Игоревич, 1990 года рождения.

В 2013 году окончил ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 140400 Электроэнергетика и электротехника.

В 2017 году окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Работает в должности младшего научного сотрудника кафедры электрофизики Физико-технологического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре автоматизированных электрических систем Уральского энергетического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Бартоломей Пётр Иванович, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Уральский энергетический институт, кафедра автоматизированных электрических систем, профессор.

Официальные оппоненты:

Колосок Ирина Николаевна, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, отдел электроэнергетических систем, ведущий научный сотрудник;

Фишов Александр Георгиевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», кафедра автоматизированных электроэнергетических систем, профессор;

Хохлов Михаил Викторович, кандидат технических наук, доцент, Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Сыктывкар, лаборатория энергетических систем, заведующий лабораторией

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 18 работ, из них 8 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, из них 6 – в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus. Общий объем опубликованных работ – 7,32 п.л., авторский вклад – 3,31 п.л.

Основные публикации по теме диссертации:

1. **Семененко С.И.** Оптимизация состава традиционных и высокоточных синхронизированных векторных измерений для ускоренной оценки состояния ЭЭС / С.И. Семененко, П.И. Бартоломей // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. – 2019. – Т. 52, № 1. – С. 66–71. 0,43 п.л. / 0,22 п.л.

2. **Семененко С.И.** Развитие метода оценивания состояния для интеграции СВИ и измерений SCADA в ЭЭС / С. И. Семененко, П. И. Бартоломей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – № 3-4. – С. 1–9; 0,68 п.л. / 0,34 п.л.

3. Bartolomey P.I., **Semenenko S.I.** Power Systems State Estimation Acceleration on the Basis of the Synchronized Phasor Measurements in the Power System Steady State Control Tasks // 2018 International Youth Scientific and Technical Conference Relay Protection and Automation (RPA), Moscow, 2018. – Pp. 1-10; 0,50 п.л. / 0,25 п.л. *(Scopus)*.

4. Aprosin K.I., **S.I. Semenenko.** New Transmission Line Capability Assessment Method in Emergency Control Tasks // 2018 International Youth Scientific and Technical Conference Relay Protection and Automation (RPA), Moscow, 2018. – Pp. 1-19; 1,12 п.л. / 0,60 п.л. *(Scopus)*.

5. Bartolomey P., **Semenenko S.** Super-accelerated power systems power flow and state estimation calculations within the WAMS environment // 2017 14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES), Oradea, 2017. – Pp. 55-58; 0,19 п.л. / 0,10 п.л. *(Scopus)*.

6. Bartolomey P., Kotova E., **Semenenko S.**, Lebedev E. Phasor measurements impact on the a priori data filtration and power systems state estimation // 2017 14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES), Oradea, 2017. – Pp. 51-54; 0,20 п.л. / 0,05 п.л. *(Scopus)*.

7. Bartolomey P., **Semenenko S.** Accelerated power systems power flow calculations using phasor measurements // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Chelyabinsk, 2016. – Pp. 1-5; 0,32 п.л. / 0,17 п.л. *(Scopus)*.

8. Bartolomey P.I., Eroshenko S.A., **Semenenko S.I.**, Suvorov A.A. PMU-based informational support of power system control tasks // WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2014, Vol. 190 VOLUME 1. – Pp. 307-318; 0,69 п.л. / 0,17 п.л. *(Scopus)*.

На автореферат поступили отзывы:

1. **Неуймина Владимира Геннадьевича**, кандидата технических наук, доцента, заместителя научного руководителя, начальника Научно-

технического центра, и **Максименко Дмитрия Михайловича**, кандидата технических наук, ведущего программиста АО «Научно-технический центр Единой энергетической системы», г. Екатеринбург. Содержит вопросы, касающиеся поведения разработанных алгоритмов при изменении топологии сети и при размещении устройств синхронизированных векторных измерений (УСВИ) не во всех предлагаемых алгоритмами местах, а также применимости алгоритмов в контексте необходимости обеспечения связности «каркаса» синхронизированных векторных измерений (СВИ).

2. **Павлова Владимира Ивановича**, генерального директора филиала АО «Системный оператор Единой энергетической системы», и **Захарова Юрия Павловича**, кандидата технических наук, начальника отдела Службы электрических режимов филиала АО «СО ЕЭС» Объединённого диспетчерского управления Урала, г. Екатеринбург. Содержит замечания, касающиеся ввода в российские стандарты терминологии, связанной с СВИ, а также проблем незаинтересованности собственников оборудования во вводе новых дорогостоящих измерительных устройств.

3. **Шульженко Сергея Витальевича**, кандидата технических наук, доцента кафедры электроэнергетических систем ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва. Содержит замечания, касающиеся применения терминов без расшифровки.

4. **Смирнова Валерия Анатольевича**, кандидата технических наук, доцента, заместителя генерального директора по инжинирингу в электроэнергетике ООО «Прософт-Системы», г. Екатеринбург. Содержит замечания, связанные с уточнением формулировок, и вопросы по поводу границ применимости математических выражений и возможности учета в алгоритмах априорного наличия УСВИ.

5. **Назарычева Александра Николаевича**, доктора технических наук, профессора, ректора ФГАОУ ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации», г. Санкт-Петербург. Содержит замечания, уточняющие границу допущений, принятых автором. Также, содержит вопросы,

касающиеся применимости предлагаемых алгоритмов в распределительных сетях.

6. **Герасименко Алексея Алексеевича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Содержит замечание: в работе отсутствует описание вероятностно-статистической связи между данными телеизмерений и результатами и свойствами оценки режима электросетевого объекта, формирующей в итоге достоверность оценок параметра режима.

7. **Жукова Андрея Васильевича**, кандидата технических наук, советника директора АО «Системный оператор Единой энергетической системы», г. Москва. Содержит вопросы, касающиеся поведения разработанных алгоритмов при изменении топологии сети, апробации алгоритмов на данных реальных средств измерений; уточнения формулировок в автореферате и предельных величин параметров измерительных систем для достижения требуемой точности измерения.

8. **Куликова Юрия Алексеевича**, кандидата технических наук, доцента, ведущего эксперта Филиала АО «Системный оператор Единой энергетической системы» Центр сервисного обеспечения, г. Москва. Содержит замечания: непонятно, как перечисленные приложения СМПР повлияют на предложенный алгоритм выбора мест установки векторных регистраторов; было бы полезным указать в работе трудности, связанные с внедрением результатов СВИ в практику «оценивания состояния».

9. **Шуина Владимира Александровича**, доктора технических наук, профессора кафедры автоматического управления электроэнергетическими системами, и **Кулешова Анатолия Ивановича**, кандидата технических наук, доцента кафедры электрических систем ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново. Содержит вопросы, касающиеся достоверизации данных в предлагаемых измерительных системах, а также верификации результатов алгоритмов.

10. **Ведерникова Александра Сергеевича**, кандидата технических наук, доцента, декана электротехнического факультета, заведующего кафедрой «Электрические станции», и **Гольдштейна Валерия Геннадьевича**, доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара. Содержит вопросы, касающиеся накопительной погрешности измерений, пояснения пространства значений предлагаемой целевой функции в предлагаемых модификациях. Также содержатся замечания, касающиеся формулировок и аббревиатур.

11. **Литвинова Валерия Геннадьевича**, кандидата технических наук, начальника Северного района электрических сетей АО «Екатеринбургская электросетевая компания», г. Екатеринбург. Без замечаний.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их широкой известностью своими достижениями и исследованиями в области оценивания состояния и использования синхронизированных векторных измерений, наличием публикаций в ведущих рецензируемых изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержатся новые научно обоснованные технические решения проблемы размещения устройств синхронизированных векторных измерений, имеющие существенное значение для развития страны.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

– разработанный способ преобразования нелинейной системы уравнений установившегося режима для модели переменного тока может быть использован для выполнения расчёта параметров состояния ЭЭС прямым

(безытерационным) методом за счёт специального выбора вектора известных и неизвестных переменных;

– предложенный подход к выбору мест установки СВИ даёт возможность выполнить размещение СВИ, близкое к оптимальному по числу устройств, а также, позволяет выполнять расчёт режимных параметров энергетической системы за счёт совмещения измерений СВИ и классических измерений SCADA. В работе был выявлен недостаток предлагаемого метода, заключающийся в неудовлетворительной точности при использовании современных систем измерений в связи с высокой чувствительностью расчётных параметров режима к погрешностям измеряемых параметров;

– при выборе мест размещения СВИ следует учитывать сопротивления элементов схемы замещения, на которых размещаются измерения. Это объясняется тем, что при малых значениях сопротивлений коротких линий значение погрешности оценки мощности на этом участке недопустимо сильно возрастает пропорционально погрешностям измерительных приборов. Такие участки, называемые в работе критическими, влияют на результирующую расстановку СВИ;

– формирование топологически связного каркаса СВИ позволяет нивелировать проблему возрастания погрешности ОС при наличии коротких линий между подстанциями с установленными PMU;

– предложен и апробирован метод выбора мест размещения СВИ, обеспечивающий формирование системы измерений, наиболее эффективным образом увеличивающий точность измерительной системы СВИ от каждого вновь добавляемого измерительного устройства для выполнения двухуровневого оценивания состояния по измерениям СВИ и SCADA;

– предложен метод преобразования системы координат в задаче линейного оценивания состояния ЭЭС на базе СВИ. Предложен подход к формированию целевой функции и системы ограничений в задаче линейного оценивания состояния ЭЭС на базе СВИ, позволяющий повысить точность

результата оценивания состояния по сравнению с реализованными в современных программных пакетах;

– совокупность разработанных методов и алгоритмов является новым инструментом анализа и совершенствования системы информационного обеспечения ЭЭС, который можно использовать как в задачах технико-экономического обоснования размещения СВИ, так и для развития систем управления ЭЭС.

На заседании 19 ноября 2019 г. диссертационный совет УрФУ принял решение присудить Семененко Сергею Игоревичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ в количестве 10 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 11 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 10, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета УрФУ Паздерин Андрей Владимирович

Ученый секретарь
диссертационного совета УрФУ Самойленко Владислав Олегович

19.11.2019 г.