

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.285.03 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО
ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА», МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15.02.2017 г. № 2

О присуждении Коваленко Павлу Юрьевичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы анализа низкочастотных колебаний и синхронизирующего действия генератора на базе векторных измерений» по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы принята к защите 12 декабря 2016 г., протокол № 11 диссертационным советом Д 212.285.03 на базе ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; созданным приказом Минобрнауки России № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель, Коваленко Павел Юрьевич, 1989 года рождения.

В 2012 году окончил ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению «Электроэнергетика»; в 2016 г. окончил очную аспирантуру по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»; работает в должностях старшего лаборанта и ассистента (по совместительству) кафедры автоматизированных электрических систем Уральского энергетического 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, Бердин Александр Сергеевич, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Уральский энергетический институт, кафедра автоматизированных электрических систем, профессор.

Официальные оппоненты:

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

Машалов Евгений Владимирович – кандидат технических наук, АО «Научно-технический центр Единой энергетической системы» (г. Санкт-Петербург), Отдел автоматизации управления режимами энергосистем, начальник отдела,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подписанном Попковым Евгением Николаевичем, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Электрические системы и сети», Поповым Максимом Георгиевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Электрические станции и автоматизация энергосистем», Ваниным Валерием Кузьмичом, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Электрические станции и автоматизация энергосистем», и Юргановым Алексеем Анатольевичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Электрические системы и сети»,

указала, что диссертация Коваленко П.Ю. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей важное значение для развития электроэнергетики. Работа удовлетворяет критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением правительства РФ (№842 от 24 сентября 2013 г., в ред. от 21.04.2016 г.), а ее автор, Коваленко Павел Юрьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 24 работы, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 7.

Другие публикации представлены в виде 1 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ; 1 патента РФ на изобретение; 15 статей, опубликованных в сборниках научных трудов (3), докладов международных (9) и всероссийских (3) научных конференций. Общий объем опубликованных работ – 8,1 п.л., авторский вклад – 3,65 п.л. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

Статьи в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК:

1. Коваленко П.Ю. Оценка участия синхронного генератора в демпфировании низкочастотных колебаний по данным синхронизированных векторных измерений / А.С. Бердин, А.С. Герасимов, Ю.П. Захаров, П.Ю. Коваленко, А.Н. Мойсейченков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Энергетика. 2013. – Т. 13. – № 2. С. 62–68. (0,44 п.л./0,2 п.л.).

2. Коваленко П.Ю. Идентификация низкочастотных колебаний в энергосистеме / Ю.П. Захаров, П.Ю.Коваленко // Научное обозрение. 2013. – № 12. – С. 171–177. (0,44 п.л./0,2 п.л.).

3. Коваленко П.Ю. Оценка мгновенных значений параметров электрического режима в сети переменного тока / А.С. Бердин, Д.И. Близнюк, П.Ю. Коваленко, А.С. Черепов // Электрические станции. 2015. № 8. – С. 36–39. (0,25 п.л./0,1 п.л.).

4. Коваленко П.Ю. Сравнение методов определения синхронизирующей мощности синхронной машины по результатам экспериментальных исследований на электродинамической модели / А.С. Бердин, А.С. Герасимов, П.Ю. Коваленко, А.Н. Мойсейченков // Известия НТЦ Единой энергетической системы. 2015. № 2 (73). С. 72–82. (0,4 п.л./0,2 п.л.).

5. Kovalenko P.Y. Estimation of synchronous generator participation in low-frequency oscillations damping based on synchronized phasor measurements / A.S. Berdin, Y.P. Zakharov, P.Y. Kovalenko // WIT Transactions on Ecology and the Environment vol.190: Energy Production and Management in the 21st Century – 2 Volume Set. WIT Press, 2014. Vol. 1, pp. 319–325. (0,44 п.л./0,2 п.л.).

6. Kovalenko P.Y. Estimating the instantaneous values of the state parameters during electromechanical transients / A.S. Berdin, D.I. Bliznyuk, P.Y. Kovalenko // 2015 IEEE International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings. Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21–23, 2015, pp. 1–6. (0,44 п.л./0,1 п.л.).

7. Kovalenko P.Y. Estimation of the Instantaneous Values of the Electrical Operating Parameters in the AC Network / A.S. Berdin, D.I. Bliznyuk, A.O. Egorov, P.Y. Kovalenko, A.S. Cherepov // Power Technology and Engineering, vol. 49, no. 5, January 2016, Springer New York, pp. 1–3. (0,19 п.л./0,1 п.л.).

Авторские свидетельства, патенты:

8. А.с. 2013613918 (Россия) о государственной регистрации программы для ЭВМ от 18 апреля 2013 г. ПО мониторинга низкочастотных колебаний / Бердин А.С., Дубинин Д.М., Захаров Ю.П., Коваленко П.Ю., Опалев О.Л., Семенова Л.А., Уткин Д.Н.. Заявка № 2013611847, дата поступления 01 марта 2013 г.

9. Пат. 2564539 Рос. Фед. Система определения синхронизирующей мощности синхронной машины / А.С. Бердин, А.С. Герасимов, П.Ю. Коваленко, от 07 сентября 2015 г. Заявка № 2014141190, приоритет изобретения 01 октября 2014 г.

На автореферат поступили положительные отзывы:

1. **Наровлянского Владимира Григорьевича**, д-ра техн. наук, начальника департамента методов и средств управления АО Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва. Содержит замечания:

1.1. Предложенный способ экспресс-оценки параметров НЧК не снабжен точными условиями возможности его использования, при этом, в частности, не могут быть выявлены НЧК, период которых больше длины выбранного для анализа отрезка.

1.2. Утверждение о «полном отсеивании несуществующих НЧК» при применении экспресс-метода не имеет строгого обоснования.

1.3. Выполненное в работе развитие анализа НЧК посредством методов преобразования Гильберта и модовой декомпозиции направлены в сторону использования полуэмпирического подхода, адаптированного к конкретным анализируемым данным. Необходимо дальнейшее обоснование такого подхода с определением необходимых и достаточных условий для надежного получения результатов применительно к широкому спектру частот НЧК в стационарном и послеаварийном режимах энергосистемы.

1.4. Использован термин «высокомощные энергосистемы». Это словосочетание не является общеупотребительным, не имеет определения в тексте и, как результат, не вполне понятно из контекста автореферата.

1.5. Фраза «НЧК представляют собой результат взаимодействия нескольких вращающихся масс в энергорайоне или энергоузле, чем и обусловлены их свойства – нелинейность и нестационарность» не дает понимания существа указанного процесса, поскольку не определено, что подразумевает автор под

вращающимися массами, какое их взаимодействие имеется в виду и как из этого следует «нелинейность и нестационарность» процесса.

2. **Хрущева Юрия Васильевича**, д-ра техн. наук, профессора кафедры «Электрические сети и электротехника» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск. Содержит замечание: для оценки синхронизирующего действия синхронного генератора используется его «удельная синхронизирующая мощность», определяемая как частная производная активной мощности генератора по внутреннему (нагрузочному) углу. Однако эта зависимость лишь частично отражает динамику изменения активной мощности и, соответственно, движения ротора генератора в колебательном процессе. Полнее эту динамику отражает производная активной мощности по абсолютному углу, определяемому с учетом внешнего, по отношению к генератору, сопротивления. Полезно было бы дать краткое пояснение по этому вопросу.

3. **Кононова Юрия Григорьевича**, д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой автоматизированных электроэнергетических систем и электроснабжения, и.о. директора института электроэнергетики, электроники и нанотехнологий (ИЭЭиН), и **Петрова Антона Васильевича**, канд. техн. наук, доцента кафедры автоматизированных электроэнергетических систем и электроснабжения ИЭЭиН ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь. Содержит замечания:

3.1. Нет обозначений осей графиков, приведенных на рисунке 1 автореферата. Название рисунка требует более четкого согласования с его содержанием.

3.2. При анализе технологического нарушения в ОЗ ОДУ Юга автор разбивает весь временной интервал на 6 характерных интервалов (стр. 18) и определяет границы между интервалами с точностью до сотых долей секунды. Чем вызвана необходимость указания такой высокой точности, например, для границы между 5 и 6 интервалами?

4. **Хохлова Михаила Викторовича**, канд. техн. наук, заведующего лабораторией энергетических систем, и **Успенского Михаила Игоревича**, канд. техн. наук, ведущего научного сотрудника ФГБУН Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар. Содержит замечания:

4.1. Не очень понятны реальные измерения с частотой выборки в 10 кГц при использовании устройств синхронизированных векторных измерений (PMU). Позволят ли они поддерживать такую частоту и насколько это будет надежно?

4.2. В рис. 4 плохое совмещение цветов, и поэтому он практически нечитаем.

5. **Рабиновича Марка Аркадьевича**, д-ра техн. наук, начальника отдела системного моделирования и **Воротницкого Валерия Эдуардовича**, д-ра техн. наук, профессора, главного научного сотрудника АО «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы», г. Москва. Содержит замечания:

5.1. Рассматриваются, главным образом, НЧК как реакция на большие возмущения. В то же время НЧК могут возникать в нормальных режимах на резонансах частотных характеристик.

5.2. Автор рассматривает ЭМП и длительные переходные процессы как НЧК. Это можно было бы принять, но при этом сложно отделить переходные процессы от собственных НЧК, возникающих как результат близости режима к границам устойчивости при резонансах в частотных характеристиках.

5.3. Утверждение автора, что нестационарность вызвана взаимным движением вращающихся масс и наличием многочастотных колебаний в системе требует уточнения. Нестационарность, как случайный, процесс, определяется корреляционными свойствами совокупности параметров режима в энергосистеме.

6. **Куликова Юрия Алексеевича**, канд. техн. наук, доцента, ведущего эксперта Филиала АО «Системный оператор Единой энергетической системы» Центр сервисного обеспечения, г. Москва. Содержит замечания:

6.1. Из автореферата непонятно, проводил ли автор анализ результатов исследования НЧК международными организациями и каким образом он использовал результаты этих исследований в работе.

6.2. Из автореферата осталось неясным, использовал ли автор результаты расчета ЭМПП на базе расчетных моделей ЕЭС/ОЭС с использованием математических моделей, реализованных в современных программно-вычислительных комплексах, таких, как EUROSTAG, для проверки разработанных методов идентификации и анализа НЧК.

7. Павлова Владимира Ивановича, генерального директора, **Юдина Андрея Владимировича**, заместителя главного диспетчера по режимам, и **Захарова Юрия Павловича**, канд. техн. наук, главного специалиста службы электрических режимов Филиала АО «Системный оператор Единой энергетической системы» «Объединенное диспетчерское управление энергосистемы Урала», г. Екатеринбург. Содержит замечание и вопрос:

7.1. В четвертой главе работы автором большое внимание уделено практическим аспектам применения методики идентификации низкочастотных колебаний, в том числе предложены диапазоны значений критериев оценки степени опасности низкочастотных колебаний. также с учетом данной методики автором выполнен анализ технологического нарушения, произошедшего в ОЗ ОДУ Юга, в ходе которого были определены блоки Невинномысской ГРЭС с настройкой регуляторов, не позволяющей при определенных условиях демпфировать НЧК. При этом, в диссертационной работе не уделяется внимания вопросу корректировки и выбора оптимальных настроек регуляторов выявленных блоков для успешного демпфирования НЧК с помощью разработанной методики.

7.2. В каких энергорайонах и в соответствии с какими критериями предлагается в первую очередь внедрить технологию идентификации и оценивания степени опасности низкочастотных колебаний параметров?

8. Шубина Николая Генриховича, канд. техн. наук, главного эксперта дирекции по электроэнергетике Уральского филиала «УралРТСофт» АО «РТСофт», г. Екатеринбург. Содержит замечания:

8.1. На рисунке 1 не обозначены наименования осей графика.

8.2. На стр. 3. Приведено утверждение «НЧК представляют собой результат взаимодействия нескольких вращающихся масс в энергорайоне или энергоузле, чем и обусловлены их свойства – нелинейность и нестационарность». Могут ли возникнуть НЧК, если вместо одной из вращающихся масс будет инверторный генератор (практически не имеющий массы или инерции). Можно ли использовать предложенные методы анализа для распределенных энергосистем или микрогридов с инверторными генераторами, не обладающими инерцией или обладающими искусственной инерцией.

9. Федчишина Вадима Валентиновича, канд. техн. наук, директора института энергетики, заведующего кафедрой «Электрические станции, сети и системы» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский университет», г. Иркутск. Без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области анализа устойчивости электроэнергетических систем, наличием публикаций в ведущих рецензируемых изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны методы анализа низкочастотных колебаний в энергосистеме на основе синхронизированных векторных измерений:

– метод частотной эмпирической модовой декомпозиции для выделения доминантных мод и модификация преобразования Гилберта для определения их параметров;

– метод количественной оценки синхронизирующего действия синхронных генераторов в ходе низкочастотных колебаний на основе определения удельной синхронизирующей мощности и ее нормированной интегральной оценки;

– методы подготовки данных, получаемых от Системы мониторинга переходных режимов ЕЭС России, для выполнения анализа низкочастотных колебаний;

предложены критерии оценки опасности низкочастотных колебаний и соответствующие пороговые значения для своевременного информирования оперативного персонала энергосистемы о возникновении недопустимых низкочастотных колебаний; критерии территориальной градации низкочастотных колебаний в зависимости от места проявления, а также выделения синфазных и противофазных низкочастотных колебаний;

доказана применимость и эффективность разработанных методов, а также соответствие требованиям их работы в режиме реального времени.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что работа направлена на решение одной из важных проблем функционирования электроэнергетических систем с использованием современной и развивающейся технологии синхронизированных векторных измерений. В работе выполнен сравнительный анализ существующих методов выявления низкочастотных колебаний и определения их параметров, установлено их частичное несоответствие требованиям функционирования реальной электроэнергетической системы. Разработанные с учетом результатов сравнительного анализа методы протестированы на основе данных математического и физического моделирования, а также на реальных данных, полученных с объектов ЕЭС России. Результаты тестирования разработанных методов показали их превосходство по характеристикам относительно проанализированных существующих методов.

Применительно к проблематике диссертации эффективно использованы методы цифровой обработки сигналов, а также математического и физического моделирования электроэнергетических систем;

изложены этапы разработки и внедрения в практику методов анализа низкочастотных колебаний – формирование требований к методам с учетом характера объекта исследования, сравнение существующих и выделение наиболее перспективных подходов, выявление и устранение имеющихся недостатков в виде несоответствия поставленным требованиям по качеству и/или быстрдействию решения;

раскрыты существование слабо демпфированных низкочастотных колебаний в энергосистемах и сложность их выявления, определения параметров и создание необходимого противодействия;

проведена модернизация преобразования Гильберта-Хуанга для учета специфики низкочастотных колебаний в энергосистемах.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены методы анализа низкочастотных колебаний в энергосистеме на основе данных синхронизированных векторных измерений;

определены перспективы применения технологии синхронизированных векторных измерений параметров электрического режима для анализа низкочастотных колебаний в электроэнергетической системе;

создан программный комплекс мониторинга низкочастотных колебаний, основой которого послужили разработанные методы;

представлены рекомендации для выполнения анализа низкочастотных колебаний, в том числе критерии их допустимости.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

для экспериментальных работ показана воспроизводимость **результатов исследований, полученных при многократном повторении опытов** путем сравнительного анализа расчетных способов определения угла нагрузки синхронной машины с его непосредственными измерениями;

теория анализа низкочастотных колебаний и синхронизирующего действия генератора построена на использовании известных положений теорий электроэнергетических систем и обработки сигналов;

использованы научные труды российских и зарубежных специалистов, материалы научно-технических конференций и семинаров, руководящие документы;

установлено соответствие результатов теоретических исследований с данными экспериментов;

использованы современные методы цифровой обработки сигналов, соответствующие математические методы, а также общепризнанные математические и физическая модели электроэнергетических систем.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследования низкочастотных колебаний в ЭЭС; разработке методов и расчетных алгоритмов; постановке экспериментов и обработке их результатов; разработке и отладке программного комплекса; обработке, обобщении и подготовке к печати результатов исследований; апробации результатов.

Диссертационная работа Коваленко Павла Юрьевича соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, является самостоятельной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные решения по выявлению и определению параметров низкочастотных колебаний в электроэнергетических системах, а также их классификации и выявлению основных содействующих и противодействующих колебаниям генераторов, имеющие существенное значение для развития электроэнергетики России.

На заседании 15 февраля 2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Коваленко П.Ю. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета


Сарапулов Федор Никитич
Зюзов Анатолий Михайлович

15 февраля 2017 г.