

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 512.002.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ» (АО «НТЦ ФСК ЕЭС»)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19 февраля 2019 г. № 2

О присуждении Васьковской Татьяне Александровне, гражданке РФ, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Анализ оптимальных режимов электроэнергетических систем на основе множителей Лагранжа» по специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы» принята к защите 31.10.2018 (протокол заседания № 26) диссертационным советом Д 512.002.01, созданным в соответствии с приказом Министерства образования и науки РФ от 11.04.2012 № 105/нк на базе Открытого акционерного общества «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы» (ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»), находящегося по адресу: 115201, г. Москва, Каширское шоссе, д. 22, корп. 3.

Соискатель Васьковская Татьяна Александровна, 1980 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Диагностика линейных электрических цепей по частям» защитила в 2003 году в диссертационном совете, созданном на базе Московского энергетического института (технического университета), работает начальником департамента развития аналитических систем в АО «Администратор торговой системы».

Диссертация выполнена на кафедре Теоретических основ электротехники в ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» Министерства науки и высшего образования РФ.

Научный консультант – Бутырин Павел Анфимович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой теоретических основ электротехники ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Официальные оппоненты:

Бартоломей Петр Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор-консультант кафедры автоматизированных электрических систем ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»;

Воропай Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН научный руководитель института ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук;

Коровкин Николай Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника и электромеханика» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанным Ложкиным С.А., д.ф.-м.н., профессором, заместителем декана факультета высшей математики и кибернетики, Васиным А.А., д.ф.-м.н., профессором, заместителем заведующего кафедрой исследования операций, Давидсоном М.Р., к.ф.-м.н., доцентом кафедры исследования операций, утвержденным Федяниным Андреем Анатольевичем, доктором физико-математических наук, профессором РАН, проректором – начальником

Управления научной политики и организации научных исследований, указала, что диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Соискатель имеет 43 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 24 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 16 работ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации, опубликованные в рецензируемых периодических изданиях:

1. Vaskovskaya T. Contribution of transmission and voltage constraints to the formation of locational marginal prices / T. Vaskovskaya, P. Guha Thakurta, J. Bialek // *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. — 2018. — P. 491–499.

2. Васьковская Т.А. Вопросы формирования равновесных узловых цен оптового рынка электроэнергии / Т.А. Васьковская // *Электрические станции*. — 2017. — № 1. — С. 25—32.

3. Vaskovskaya T.A. Identifying Congestion Zones with Weighted Decomposition of Locational Marginal Prices / T.A. Vaskovskaya, P.G. Thakurta, J.W. Bialek // *2017 IEEE Manchester Powertech*. — 2017. — P. 1–6.

5. Васьковская Т.А. Новая декомпозиция узловых цен на вклады ценообразующих заявок при оптимизации режимов электрических систем / Т.А. Васьковская // *Электричество*. — 2015. — № 7. — С. 21—31.

6. Васьковская Т.А. Применение линейного регрессионного анализа при моделировании и прогнозировании цен оптового рынка электроэнергии / Т.А. Васьковская // *Вестник МЭИ*. — 2015. — № 6. — С. 96 — 103.

7. Volodin D.V. Clustering Approach for Determination of Congestion Zones on Nodal Electricity Markets in Long Term Periods / D.V. Volodin, T.A. Vaskovskaya // *2015 IEEE Eindhoven PowerTech*. — IEEE, 2015. — P. 1–6.

8. Васьковская Т.А. Определение зон влияния сетевых ограничений на узловые цены / Т.А. Васьковская, Д.В. Володин // Известия РАН. Энергетика. — 2014. — № 1. — С. 74—83.

9. Васьковская Т.А. Возможность управления свободными ценами рынка электроэнергии путем изменения параметров электрической сети и энергопринимающего оборудования / Т.А. Васьковская // Известия РАН. Энергетика. — 2014. — № 3. — С. 3—7.

Личный вклад соискателя в опубликованных работах:

[1, 3] – постановка задачи, разработка теоретических положений, математических моделей и методов, анализ и обобщение результатов, разработка рекомендаций по применению предложенных решений;

[2, 5, 6, 9] – выполнены единолично;

[4] – постановка задачи оптимизации режимов ЭЭС и анализ режимов, полученных в результате экспериментов, их сопоставление с опубликованной информацией о реализации различных стратегий на рынке электроэнергии и мощности в России.

[7, 8] – постановка задачи идентификации устойчивых зон, сравнения различных зон между собой, выбор параметра схожести зон и др.

Внедрение результатов диссертационного исследования в АО «АТС», En+ Group Development, ООО «Инженерные изыскания» и ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН подтверждаются актами внедрения.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, подписанный главным научным сотрудником сектора электрофизики и электроэнергетики лаборатории технической диагностики, д.т.н., профессором Кинштом В.Н. Отзыв положительный со следующими замечаниями:

– Современные условия функционирования ЭЭС можно было бы назвать рыночными с существенными ограничениями. Оптимизация режимов сети неявно подразумевает конкуренцию энергетических компаний. Однако комплекс

энергогенерирующих и сбытовых компаний выступает в основном как монополист по отношению к потребителям. Здесь возникает вопрос, учитывают ли предполагаемые модели прямые договоры между отдельными потребителями с конкретными генерирующими источниками? Представляется, что этот вопрос недостаточно освещен в работе.

– В тексте автореферата имеется путаница с применением терминов «базисного», «балансирующего» и «регулирующего» узлов.

– Предоставлялось бы желательным более четкая дифференциация понятий узловых цен, множителей Лагранжа и договорных (отпускных) цен.

2. АО «Системный оператор Единой энергетической системы», подписанный советником директора, д.т.н., доцентом Ерохиным П.М. Отзыв положительный со следующими замечаниями:

– Из автореферата не ясна взаимосвязь между МЛ-формирующими узлами с неизвестными активными и реактивными узловыми мощностями, а также с узлами, в которых контролируются модули и фазы напряжений (см. таблицу 2). Поскольку при расчетах установившихся электроэнергетических режимов в балансирующем узле по активной мощности фаза напряжения фиксируется (по реактивной – поддерживается модуль напряжения), указанную взаимосвязь необходимо пояснить.

– Таблица 2 не совсем корректно названа, поскольку описанные типы узлов при оптимизации установившихся режимов не применяются. По тексту автореферата речь идет о типах узлов в результирующем оптимальном режиме. Таблица 5 имеет схожее название. При этом данные в таблицах различны.

3. ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», подписанный профессором кафедры «Электрических станций им. В.К. Шибанова», д.ф.м.н. Усачевым А.Е. Отзыв положительный со следующими замечаниями:

– На стр. 31 в первоначальную задачу оптимизации (1)–(6) введены интегральные ограничения (46). Далее в (48), (55) отмечается, что из условия оптимальности при активных интегральных ограничениях следует, что

множители Лагранжа λ_{ih}^P неизменны. Однако для выполнения условия неизменности λ_{ih}^P необходима неизменность и параметра C_{gh} .

– В работе исследуются задачи оптимизации установившихся режимов ЭЭС в нелинейной постановке. В этой связи требует пояснения вопрос, почему в формуле (66) для выражения нагрузочных потерь используется аппроксимирующая функция при линеаризованных уравнениях установившегося режима.

– Положения пункта 8 заключения на стр. 39 требуют дополнительного обоснования, из-за отсутствия исходных данных в автореферате, на основании которых можно убедиться в целесообразности и достоверности выводов пункта 8 заключения.

4. АО «Системный оператор Единой энергетической системы», подписанный директором по энергетическим рынкам Катаевым А.М. и начальником службы внедрения противоаварийной и режимной автоматики д.т.н., доцентом Сацуком Е.И. Отзыв положительный со следующими замечаниями:

– В четвертой главе отмечена возможность влияния устройств компенсации реактивной мощности на узловые цены. В шестой главе реактивные мощности в регрессионных моделях не используются. Имеется ли и каков вес и влияние реактивной мощности на узловые цены?

– В седьмой главе предложен метод моделирования узловых цен с использованием структурного анализа и выделением нескольких иерархических уровней ЭЭС. В автореферате не приведено сравнение предлагаемого метода с другими решениями данной задачи. Следовало бы привести обзор известных решений.

5. ООО «Электросетевые компенсаторы», подписанным председателем наблюдательного совета, д.т.н., профессором Брянцевым А.М. Отзыв положительный со следующим замечанием:

– Не ясно, даются ли рекомендации к управлению рассматриваемыми авторами воздействиями для повышения экономичности функционирования электроэнергетической системы.

6. ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» профессором кафедры «Электрические станции, подстанции и диагностика электрооборудования», д.т.н. Савельевым В.А., профессором кафедры «Электрические системы», к.т.н., доцентом Бушуевой О.А. Отзыв положительный со следующими замечаниями:

– Не ясно, как формируются цены при наличии различных типов электрических станций, имеющих разные удельные расходы топлива на выработку электроэнергии.

– С учетом задачи минимизации потерь электроэнергии в ЭЭС целесообразно было бы пояснить, каким образом в предложенных моделях оптимального режима ЭЭС учтены ценовые показатели и показатели оптимального распределения нагрузки между электрическими станциями с учетом потерь в электрических сетях.

– На стр. 34 непонятно, к чему относится фраза «Исключение составляют часы, в которых мощность ограничена часовыми пределами генератора. В такие часы формирование МЛ является независимым».

– На стр. 40 не приведена оценка результатов, полученных при формировании регрессионных моделей для ОЭС Юга. Что они показывают, какой вывод делает автор о точности и адекватности моделей и их применимости для решения поставленной задачи?

7. ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», подписанным заведующим кафедрой «Электротехнические комплексы и системы», д.т.н., профессором Пантелеевым В.И., заведующим кафедрой «Электротехнология и электротехника», д.т.н., профессором Тимофеевым В.Н. Отзыв положительный со следующими замечаниями:

– Автором справедливо замечено, что решение задачи перспективного развития в современных условиях должно сопровождаться анализом экономических и социальных последствий, оценкой прогнозной стоимости электроэнергии. Однако представляется, что выбор тех или иных решений размещения или перевооружения генерирующих мощностей, развития сетевой инфраструктуры зависит от полученных оценок стоимости электроэнергии. В этом случае возникает вопрос, не следует ли прогнозируемую стоимость электроэнергии учитывать в процессе решения задач перспективного развития электроэнергетических систем?

– В уравнении (14) не ясен смысл вектора воздействующих параметров Δd на систему и его разницу с воздействиями Δx на странице 23.

8. АО «Электросетьсервис ЕНЭС», подписанным главным специалистом, д.т.н. Овсянниковым А.Г. Отзыв положительный со следующими замечаниями:

– В автореферате недостаточно ясно сказано, как соотносятся между собой МЛ-формирующие и регулирующие узлы в суточных оптимальных режимах ЭЭС. Следует ли использовать для их обозначения два различных термина?

– Кроме того, отдельные рисунки, например рис. 5, плохо читаемы.

9. ФГБОУ «Российский университет транспорта» (МИИТ), подписанным профессором кафедры «Электроэнергетика транспорта», д.т.н., профессором Бадёром М.П. Отзыв положительный со следующими замечаниями:

– На странице 17 автореферата некорректно приведены условия дополняющей нежесткости. Не совсем ясны размерности векторов множителей Лагранжа λ , π и др.

– На странице 44 автореферата указано, что увеличение пропускной способности сети на 200 МВт «приведет к повышению цен в Кольской энергосистеме вследствие снижения потерь электроэнергии при выдаче мощности». Однако к снижению потерь приведет не изменение выдачи

мощности из Кольской энергосистемы, а отмеченное ранее включение второй цепи транзита 330 кВ и распределение потока мощности на нее.

10. Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, врио директора, д.т.н., ст.н.с. Чукреевым Ю.Я., заведующим лабораторией энергетических систем, к.т.н., ст.н.с. Хохловым М.В. Отзыв положительный со следующими замечаниями:

– Не приведено должного обоснования использования предложенных автором в 7-й главе параметров $w_{\min}=0,2$ и $\gamma=0,2$ для идентификации устойчивых зон влияния различных факторов на узловые цены. Не ясно, устойчивы ли значения этих параметров для других энергосистем.

– В работе не отражены вопросы учета надежности функционирования электроэнергетической системы. Из автореферата не ясно, включают ли ограничения рассматриваемой задачи оптимизации (1)–(6) ограничения, обусловленные учетом вероятностных отказов элементов системы, которые могут оказывать сильное влияние на значения множителей Лагранжа и узловых цен.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их специальностью и трудами, выполненными по тематике диссертации, достижениями по специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы», а также высоким вкладом в развитие оптимизации установившихся режимов электроэнергетических систем применительно к оптовому рынку электроэнергии и мощности в России. Д.т.н., профессор Бартоломей Петр Иванович является ведущим специалистом в области управления режимами крупных энергообъединений. Д.т.н., профессор, член-корреспондент РАН Воропай Николай Иванович является ведущим специалистом в области исследования устойчивости и живучести электроэнергетических систем, обеспечения энергетической стратегии и энергетической безопасности России и ее регионов. Д.т.н., профессор Коровкин Николай Владимирович является компетентным специалистом в области

развития методов оптимизации для решения задач в электроэнергетике. Ведущая организация ФГОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», факультет Вычислительной математики и кибернетики, кафедра исследования широко известна исследованиями теоретических и расчетных моделей оптового рынка электроэнергии и мощности в России.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны математические модели и методы анализа оптимальных режимов электроэнергетических систем, позволившие выявить закономерности между показателями экономичности функционирования электроэнергетических систем и параметрами оптимальных режимов;

предложены новая структура формирования множителей Лагранжа, как линейной комбинации ценовых параметров целевой функции с коэффициентами, равными относительным приростам мощности в регулирующих узлах, определяемыми для каждого из ограничений в отдельности; метрика для сравнения схожести зон (групп узлов) неоднородности электроэнергетической системы между собой по критерию превышения некоторого порогового значения относительных приростов мощности в регулирующих узлах, вызванных теми или иными факторами;

доказана перспективность использования разработанных методов для решения прикладных задач анализа, прогнозирования и моделирования узловых цен на электроэнергию, определения факторов, влияющих на узловые цены, и управления ими;

введены новые понятия и термины: «регулирующие узлы» – узлы, мощности в которых в данном оптимальном режиме отобраны последними и которые в связи с этим могут регулировать или балансировать малые изменения в оптимальном режиме, «МЛ-формирующие» и «МЛ-принимающие» узлы – узлы, множители Лагранжа в которых формируются равными ценовым

параметрам целевой функции или под влиянием оптимального режима соответственно.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что относительные приросты мощности вызваны индивидуальным влиянием различных факторов на оптимальный режим электроэнергетической системы, таких как ограничение на поток мощности в контролируемых сечениях, ограничение на напряжение, а сумма относительных приростов мощности определяет формирование множителей Лагранжа;

применительно к проблематике диссертации эффективно **использованы** математические методы в электроэнергетике и основы теории математического программирования;

изложены положения, вносящие вклад в развитие теории и методов анализа установившихся режимов электроэнергетических систем в задачах их оптимизации в нелинейной постановке;

раскрыты противоречия: на основе предыдущего опыта получен общеизвестный вывод об отсутствии физического смысла компонент множителей Лагранжа, при этом разработанный соискателем метод взвешенной декомпозиции основан на относительных приростах мощности в регулирующих узлах, имеющих понятную физическую интерпретацию; проведенные соискателем исследования позволили для анализа множителей Лагранжа использовать стандартные подходы, используемые при анализе установившихся режимов электроэнергетических систем;

изучены связи между параметрами оптимальных режимов и показателями экономичности электроэнергетических систем в виде множителей Лагранжа к уравнениям баланса активной мощности в узлах электроэнергетической системы;

проведено усовершенствование математических моделей декомпозиции множителей Лагранжа и методов кластеризации узлов электроэнергетических систем, обеспечивающих получение новых закономерностей между параметрами оптимальных режимов и показателями экономичности

электроэнергетических систем, созданы новые методы моделирования множителей Лагранжа в условиях неопределенности информации.

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

разработаны и внедрены модели чувствительности оптимального режима электроэнергетических систем и принципы построения зависимостей узловых цен от параметров схем замещения элементов электроэнергетической системы при оценке узловых цен и целесообразности установки компенсирующих устройств реактивной мощности на электроустановках крупных потребителей ПАО «Северсталь» и АО «ОЛКОН», метод взвешенной декомпозиции множителей Лагранжа при создании автоматизированной системы анализа узловых равновесных цен в АО «АТС», методы выделения в электроэнергетической системе зон существенного влияния сетевых ограничений при создании лаборатории игровых механизмов на рынках электроэнергии для образовательных и исследовательских целей, упрощенные эквивалентные модели электроэнергетической системы с сохранением взаимосвязей между мощностями генераторов и нагрузок при оценке перспективной стоимости электроэнергии при реализации схем и программы перспективного развития единой энергосистемы России в АО «АТС» и при прогнозировании узловых равновесных цен рынка на сутки вперед электростанций АО «Евросибэнерго»;

определены перспективы применения проведенных исследований для повышения эффективности функционирования электроэнергетических систем для анализа оптимальных режимов электроэнергетических систем на рынках электроэнергии с узловым ценообразованием;

созданы алгоритмы формирования моделей чувствительности оптимальных режимов электроэнергетических систем, алгоритмы взвешенной декомпозиции множителей Лагранжа, алгоритмы выявления зон (групп или кластеров узлов), даны практические рекомендации подбора необходимых для их реализации параметров;

представлены методические рекомендации по использованию полученных результатов применительно к рынку на сутки вперед в России.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на проверяемых данных, известных положениях и принципах теории математического программирования, математических методов в электроэнергетике и согласуется с опубликованными данными по теме диссертации;

идея базируется на анализе практики ежедневной оптимизации установившихся режимов единой энергосистемы России на оптовом рынке электроэнергии;

использованы научные труды российских и зарубежных специалистов, материалы научно-технических конференций и семинаров, сравнения авторских и полученных ранее по теме диссертации данных;

установлено качественное и количественное совпадение при соответствующем сравнении авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в участии на всех этапах процесса: в постановке цели и задач исследования, разработке теоретических положений, алгоритмов, математических моделей и методов, анализе и обобщении результатов, разработке рекомендаций по применению предложенных решений, постановке и проведении вычислительных экспериментов, организации сбора и обработки статистических данных, обобщении результатов исследований, доведении разработанных научно-технических решений до внедрения, непосредственном участии автора в подготовке публикаций по выполненной работе.

Личное авторство положений и результатов диссертационной работы подтверждается публикациями и внедрением в работу.

На заседании 19 февраля 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Васьковской Т.А. ученую степень доктора технических наук.

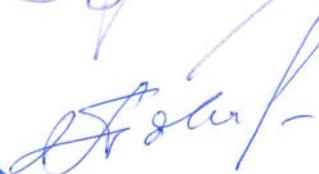
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.14.02 и 6 докторов наук по специальности 05.09.01, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 12, против - 2, недействительных бюллетеней - 1.

Заместитель председателя
диссертационного совета



В.Э. Воротницкий

Ученый секретарь
диссертационного совета



Н.И. Новиков

19 февраля 2019 г.

