

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Васьковской Татьяны Александровны
на соискание ученой степени доктора технических наук
на тему «**Анализ оптимальных режимов электроэнергетических систем на основе множителей Лагранжа**» по специальности 05.14.02
«**Электрические станции и электроэнергетические системы**»

Актуальность темы. Современные принципы планирования и управления режимами Единой электроэнергетической системой (ЕЭС) России основаны на решении задачи оптимизации установившихся режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) высокой размерности в приближенном к реальному времени темпу. Среди многочисленных задач расчет и оптимизация установившихся режимов ЭЭС занимают ведущее место как по своей значимости, так и по общему объему затрат на их выполнение. Сложность задач управления усиливается конкурентно-рыночными отношениями в электроэнергетике. Принцип равенства относительных приростов расхода топлива в оптимальных режимах лег в основу узлового ценообразования электроэнергетического рынка, которое на данный момент базируется на большой расчетной модели ЭЭС, охватывающей электроэнергетическое оборудование 110-750 кВ ЕЭС России на территории Европы, Урала и Сибири. Узловые цены определяются через нахождение двойственных или множителей Лагранжа к уравнениям баланса мощности. При этом для обеспечения экономичного производства и передачи электроэнергии в современных условиях уже недостаточно исследования только оптимальной загрузки генерирующего оборудования. Необходимо исследование оптимальных установившихся режимов ЭЭС в совокупности с множителями Лагранжа, отражающими влияние режимных ограничений на ценообразование.

С появлением новых задач моделирования и прогнозирования узловых цен, формирования ценовых сигналов на электроэнергетическом рынке, актуальность анализа оптимальных режимов ЭЭС на основе множителей Лагранжа не вызывает сомнения. В представленной диссертационной работе показано, что решение указанных задач возможно лишь при одновременном изучении как технологических аспектов управления, так и их коммерческой стороны – узловых цен, ценовых заявок участников рынка.

Диссертационную работу Т.А.Васьковской можно рассматривать как своевременную реакцию на новые серьезные вызовы, которые диктуются

возникающими взаимоотношениями в ЕЭС России между поставщиками и потребителями электроэнергии. С позиции анализа электроэнергетического рынка механизм этого взаимодействия отягощён сложностью математического описания физических (технологических) законов производства, передачи и распределения электроэнергии, сложностью нелинейной многомерной задачи оптимизации режима с учётом многочисленных ограничений, обеспечивающих устойчивую работу ЭЭС. Сказанное не только подчёркивает актуальность исследования, но и показывает те трудности, которые автору пришлось преодолеть.

Новизна исследования. Главной новой задачей, решаемой в диссертации, является выявление системы закономерностей между оптимальными режимами ЭЭС и множителями Лагранжа для последующего применения такой системы на электроэнергетическом рынке. Для её решения предложены схемы взаимосвязи переменных при анализе чувствительности оптимальных установившихся режимов ЭЭС, разработаны методы декомпозиции множителей Лагранжа на составляющие. Методом взвешенной декомпозиции автором предусматривается их разделение на влияющие факторы. Показано, что полученные составляющие не зависят от выбора базисного узла.

Разработаны новые принципы выделения зон ЭЭС как группы узлов, на которые влияют те или иные факторы. Представлен метод выделения устойчивых зон влияния. Разработаны регрессионные модели зависимости множителей Лагранжа от параметров электрической сети и узловых мощностей.

Впервые коммерческая задача формирования и обоснования узловых цен, ценовых заявок участников рынка как в темпе реального процесса управления режимами ЭЭС, так и с позиции перспективного развития ЭЭС, рассматривается в единстве с технологическими аспектами управления с учётом режимных ограничений.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждаются анализом отечественной и зарубежной научной литературы по вопросам оптимизации установившихся режимов ЭЭС, их чувствительности, декомпозиции и зонирования при применении узлового ценообразования на электроэнергетических рынках. Использованная библиография включает 285 наименований. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, подтверждается

корректностью используемого математического аппарата и приводимыми доказательствами. Работа снабжена большим количеством примеров, иллюстрирующих содержащиеся в ней положения, в том числе приводится их сравнение с известными методами. Сделанные автором работы выводы обоснованы и логичны.

Значимость для науки и практики. В диссертационной работе внимание сфокусировано на исследовании множителей Лагранжа, как известно, широко используемых при решении оптимизационных задач электроэнергетики. Однако в задачах оптимизации режимов ЭЭС множители Лагранжа обычно рассматриваются как вспомогательные величины. Т.А.Васьковская показала, что с использованием их для расчетов на рынках электроэнергии они переводятся в разряд основных величин, подлежащих исследованию наряду с параметрами режима. Множители Лагранжа становятся мощным и эффективным инструментом выстраивания рыночных отношений, обеспечивающих появление корректных ценовых сигналов и мотивирующих участников рынка к действиям в интересах поддержания устойчивого функционирования ЭЭС.

Полученные схемы чувствительности оптимальных режимов являются наиболее полными, которые дополнительно к узловым мощностям, модулям и фазам напряжений в узлах включают в себя как множители Лагранжа, так и ограничения по напряжению, которые при исследовании оптимальных режимов для электроэнергетических рынков обычно отбрасываются. Автором же показано, что их влияние на множители Лагранжа в ряде случаев является заметным. Ограничения по напряжению создают локальные зоны повышения либо снижения множителей Лагранжа. Васьковской Т.А. дано обоснование формирования узловых цен при активных ограничениях потока мощности в изолирующих и не изолирующих контролируемых сечениях. Для такого обоснования автором вводится понятие установившегося режима ЭЭС с регулирующими узлами, проводится анализ чувствительности регулируемых узлов к пропускной способности контролируемых сечений. Показано, что изолирующие контролируемые сечения создают зоны равных множителей Лагранжа. Предложены критерии по выявлению таких зон, называемых карманами нагрузки. Не изолирующие контролируемые сечения оказывают достаточно сложное влияние на множители Лагранжа. Васьковской Т.А. предложено декомпозировать влияние каждого из контролируемых сечений, и также разработаны критерии выделения зон их влияния. Большим достижением автора является разработка алгоритма выделения в ЭЭС устойчивых зон влияния

сетевых ограничений, реализация которого позволит находить «слабые места» электрической сети и, тем самым, повысить эффективность и экономичность производства и распределения электроэнергии.

Далее автором определена взаимосвязь между множителями Лагранжа и режимными параметрами электрической сети. Само по себе такое влияние известно. Однако Васьковской Т.А. предложено получить его количественную оценку, позволяющую моделировать множители Лагранжа в условиях изменения топологии электрической сети. Это в свою очередь позволяет давать оценку изменения множителей Лагранжа, а по сути, прогнозировать узловые цены электроэнергетического рынка.

В работе приведены рекомендации использования разработанных положений для анализа узловых равновесных цен рынка на сутки вперед, исследования ценовых сигналов, которые он дает, прогнозирования перспективной стоимости электроэнергии.

Проявилась, по-моему, ещё одна сильная сторона работы, на которую необходимо обратить внимание. Автор решает новую для нас задачу перспективного развития с учетом рыночных взаимоотношений поставщиков и потребителей электроэнергии. При этом важнейшим вопросом исследования стала интегральная оценка МЛ и узловых цен. В главе 4 подробно рассматриваются интегральные ограничения и ограничения по сбросу/набору мощности. Разработан подход к выделению компонент «интегральных» МЛ.

На мой взгляд, впервые в рыночном механизме рассмотрены ограничения на маневренность блоков и суточные ограничения по расходу воды на ГЭС. Всё это вместе с проведенным анализом необходимых условий, анализом чувствительности, декомпозицией МЛ на составляющие делает работу Т.А.Васьковской весьма значимой для науки и практики.

Практическое использование работы подтверждено ее внедрением в Администраторе торговой системы ЕЭС России и других организациях. Разнообразие приложений, в которых были использованы результаты диссертации Васьковской Т.А., показывают, что автором эффективно решена одна из ключевых проблем узлового ценообразования, а именно проблема сложности анализа и непредсказуемости узловых цен.

Результаты диссертационной работы изложены в 16 статьях, опубликованных в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и докладывались на российских и зарубежных конференциях и семинарах.

Следует отметить, что диссертационная работа рассматривалась на научном семинаре кафедры «Автоматизированные электрические

системы» Уральского федерального университета в феврале 2018 года с участием автора настоящего отзыва.

Прежде, чем перейти к замечаниям по диссертации Т.А.Васьковской, считаю полезным сказать про обсуждение работы на этом семинаре, о квалификации которого говорит тот факт, что с работой Т.А.Васьковской предварительно ознакомились и приняли участие в дискуссии 6 докторов технических наук по специальности 05.14.02 — Электростанции и электроэнергетические системы. Несмотря на важные критические замечания, мы были уверены, что имеем дело с серьёзной научной работой уровня докторской диссертации, а исправление ошибок и устранение замечаний лишь повысят её качество. С удовлетворением отмечаем, что наши ожидания оправдались, хотя (не без этого) некоторые не принципиального характера замечания остались.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Местами роль российских учёных несправедливо занижена. Характерный пример. На стр. 25 речь идёт об упрощенных моделях установившихся режимов ЭЭС на основе линеаризации нелинейных уравнений. Даются ссылки на зарубежные работы [21,22], опубликованные в 2003 и 2009 гг. А мы дисциплину «АСУ и оптимизация режимов ЭЭС», в которой рассматриваются модели электрических режимов, читаем на кафедре с 1974 года не по зарубежным источникам.

2. Как известно, активные сетевые ограничения влияют на экономичность работы ЭЭС, что, естественно, отражается на ценообразовании электроэнергии. В первую очередь страдают потребители электроэнергии. В работе показано, что при недостаточной пропускной способности электрических сетей, появляются ценовые сигналы в виде устойчивых зон низких МЛ. Хотелось бы получить пояснения об адресности этих сигналов, то есть понять, кто и как должен на них реагировать.

3. На стр. 35 утверждается, что администратор торговой системы в своих расчетах использует методы последовательного квадратичного программирования, которые позволяют обнулить соответствующие столбцы матрицы Гессе H и сделать ее разреженной, что ускоряет решение в 10—30 раз [66]. Судя по тексту, один из таких методов используется в диссертации.

Получается, что в матричном преобразовании (3.18 – 3.27) важнейшего раздела «Декомпозиция по параметрам целевой функции» положено игнорирование первой части исходных уравнений (3.16)-(3.17) и использование только их второй части. Но как, с математической точки

зрения, можно реализовать такое игнорирование, фактически обнуляя все коэффициенты первой части исходной СЛУ? Не верится, что АТС работает с таким алгоритмом.

4. Как известно Системный оператор ЕЭС России и нижестоящие подразделения ОДУ и РДУ решают задачи оптимизации при помощи нелинейных моделей режимов ЭЭС, что в отличие от европейских и американских электрических систем объясняется большой протяженностью и загруженностью сетей. Дело в том, что в этом случае линейные модели оказываются неприемлемыми.

В 90-е годы прошлого века к нам пришли из-за рубежа рыночные линейные модели, что вполне приемлемо для непротяженных и слабо загруженных электрических сетей. Было бы полезно обосновать такую преимущество для российской рыночной электроэнергетики, тем более что отсутствие такого обоснования влечёт за собой следующее замечание.

5. Для квадратичной целевой функции и ограничений линейного типа совершенно правомерно ограничиться анализом критерия оптимальности Куна–Таккера первого порядка. Однако в работе в нескольких местах говорится об учёте режимных ограничений по напряжениям, связь которых с потоками мощности существенно нелинейная. Поэтому непонятно, почему в диссертации условия оптимальности второго порядка не рассматриваются.

6. В тех случаях, когда в работе обсуждается декомпозиция МЛ для уравнений баланса мощности и ограничений по перетокам мощности в линиях, все математические выкладки справедливы и не вызывают сомнения. Но при необходимости учёта разнородных по физической сущности ограничений, таких как мощности, напряжения, токовая перегрузка электропередачи (термическая перегрузка ЛЭП и трансформаторов), сразу же возникает вопрос о масштабировании и весовых коэффициентах, то есть о вкладах МЛ в узловые цены. Как же находится решение в таком случае?

7. Известно, что в мировой практике распределённая генерация (РГ), находящаяся в собственности потребителей электроэнергии, начинает внедряться в рынок электроэнергии. Поскольку вопросы взаимодействия «малой генерации» и «большой электроэнергетики» в ближайшей перспективе станут весьма актуальными и для России, хотелось бы найти в диссертации ответы на вопросы: на каком уровне развития РГ будет ощутимо её влияние на ценообразование и нужна ли будет новая математическая модель выделения ценовых зон в ЭЭС?

Сделанные замечания не затрагивают главную сущность диссертации, так как у автора есть все основания на защите или в дальнейших исследованиях дать на них ответ.

Заключение. Как было отмечено выше, указанные замечания не являются принципиальными и не снижают ценности диссертационной работы. В целом можно сделать вывод, что диссертация Васьковской Т.А. на соискание ученой степени доктора наук по специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы» выполнена на высоком научном уровне, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая важное значение для электроэнергетики страны.

Практическое использование разработанных автором положений позволит научно обоснованно эффективно формировать узловые цены в используемых и разрабатываемых моделях ценообразования и в задачах развития как ЕЭС России в целом, так и входящих в неё ЭЭС.

Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы» и удовлетворяет критериям, установленным требованиями Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Считаю, что ее автор Васьковская Татьяна Александровна несомненно заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Официальный оппонент Бартоломей Петр Иванович: профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные электрические системы» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

Почтовый адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, оф. Э-309.

Телефон: +7 (343) 375-95-78,

Электронная почта: p.i.bartolomey@urfu.ru.

18.01.2012

Подпись
заверяю



Начальник
Этого отдела УДИОВ
А. М. КОСАЧЕВА

Сведения об официальном оппоненте

ФИО	Бартоломей Петр Иванович
Ученая степень и наименование отрасли науки, научных специальностей, по которым защищена диссертация	Доктор технических наук 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»
Ученое звание	Профессор
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы, должность	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», профессор-консультант кафедры автоматизированных электрических систем
Почтовый адрес организации	620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19
Телефон	+7(343)375-95-78 8 9126960310
Адрес электронной почты	p.i.bartolomey@urfu.ru
Основные публикации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)	<ol style="list-style-type: none"> 1) 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). IEEE Computer Society, 2017. P. 55–58. 2) Bartolomey P., E. Kotova, et al. 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). IEEE Computer Society, Oradea, 2017. P. 51–54. 3) Bartolomey P., Semenenko S. Accelerated power systems power flow calculations using phasor measurements // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 - Proceedings. United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. 4) Бартоломей П.И., Тащилин В.А. Электроэнергетика: информационное обеспечение систем управления: учебное пособие. Издательство ЮРАЙТ, 2016. 108 с. 5) Бартоломей П.И., Котова Е.Н., Лебедев Е.М., Максименко Д.М., Нелюбин И.С.. Влияние априорной обработки телеметрической информации на результаты оценивания

	<p>состояния ЭЭС.//Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды VII международной НТК: сборник статей в 3 т. Казань, 2016. Т.3, с. 16-20.</p> <p>6) Бартоломей П.И., Паздерин А.В., Шелюг С.Н. Оптимизация режимов ЭЭС: теория и практика. Учеб. пособие/ Екатеринбург: стереотип. Изд., УрФУ, 2016. 62 с</p> <p>7) Бартоломей П.И., Тащилин В.А. Информационное обеспечение задач электроэнергетики: учебное пособие. УрФУ, 2015. 108 с.</p> <p>8) Bartolomey P.I. et al. PMU-based informational support of power system control tasks // WIT Trans. Ecol. Environ. WIT Press, 2014. Vol. 190 VOLUME 1. P. 307–318.</p>
--	--

Официальный оппонент

Доктор техн. наук, профессор

21.01.2019



П.И.Бартоломей