

Отзыв

официального оппонента – доктора технических наук, профессора, члена-корреспондента РАН Воропая Николая Ивановича – на диссертацию Васьковской Татьяны Александровны «Анализ оптимальных режимов электроэнергетических систем на основе множителей Лагранжа», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

1. Актуальность проблемы

Оптимизация режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) всегда была одной из важных задач управления их режимами. В связи с усложнением условий функционирования ЭЭС в соответствии с рыночными принципами при наличии многих субъектов отношений часто с несовпадающими интересами важность задачи оптимизации режимов возросла, сами задачи существенно усложнились. Указанная трансформация усложнившихся условий функционирования ЭЭС потребовала пересмотра состава и смысла решаемых задач оптимизации режимов, в результате чего изменилось содержание традиционных задач и появились новые задачи, требующие модернизации старых и разработки новых подходов к их решению.

В условиях действующих рынков электроэнергии и мощности у потребителей недостаточно стимулов для мониторинга и управления собственным электропотреблением в реальном времени. С другой стороны, процесс производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии является сложным технологическим процессом, требующим совместного участия в нем многих субъектов отношений при имеющей место взаимозависимости контрактов на поставку электроэнергии. В этих условиях становятся чрезвычайно важными корректные ценовые сигналы, мотивирующие участников электроэнергетического рынка к поведению в интересах поддержания устойчивого функционирования ЭЭС. Имеющийся мировой опыт функционирования электроэнергетических рынков свидетельствует о необходимости целесообразного их регулирования, в процессе которого могут быть использованы объективные ценовые сигналы.

Сказанное подтверждает высокую актуальность принятого автором направления исследований.

2. Новизна исследований и полученных результатов

В основу диссертационного исследования Т.А.Васьковская берет весьма конструктивные идеи Л.В.Канторовича об интерпретации двойственных оценок (или множителей Лагранжа) в оптимизационных задачах в качестве объективно обусловленных цен, учитывающих конкретные условия производства и обеспечивающих наиболее эффективное использование ресурсов. Автор решает задачи оптимизации режимов ЭЭС на сутки вперед (функция Администратора торговой системы) и в день фактической поставки электроэнергии (функция Системного оператора) по критериям минимума издержек на выработку электроэнергии или максимума функции

благополучия. Оптимизация режима ЭЭС рассматривается в полной нелинейной постановке, т.е. по активной и реактивной мощности одновременно при представлении системы полными уравнениями потоковраспределения по переменному току.

Анализ оптимальных режимов ЭЭС на основе множителей Лагранжа позволяет автору исследовать зависимости между множителями Лагранжа и свойствами, параметрами и ограничениями оптимальных режимов ЭЭС, что является основой для решения новых актуальных задач, таких как анализ чувствительности оптимальных режимов ЭЭС, анализ на основе множителей Лагранжа неоднородности ЭЭС, построение эквивалентных моделей ЭЭС меньшей размерности. Все это в совокупности определяет новизну исследований автора и полученных в диссертации результатов.

3. Практическая значимость и реализация результатов

Практическая значимость исследований автора в диссертации заключается в том, что выполненные разработки легли в основу технологии анализа и прогнозирования равновесных узловых цен рынка на сутки вперед, действующего в России. В результате разработаны конкретные рекомендации по повышению эффективности функционирования ЕЭС России в целом, а также всех участников рынка, работающих в сформировавшихся ценовых зонах. Особо следует подчеркнуть то, что значительная часть результатов исследований, полученных в диссертации, вошла в практику работы Администратора торговой системы, о чем свидетельствуют документы о внедрении. Используемые результаты связаны с анализом разницы узловых равновесных цен на рынке на сутки вперед, интерпретацией случаев формирования очень низких или очень высоких узловых цен, определением влияющих факторов на узловые цены, оценкой стоимости электроэнергии на перспективу.

4. Обоснованность и достоверность научных выводов, положений и рекомендаций

Выполнение требований достоверности и обоснованности выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается корректным применением теорий электрических цепей и электроэнергетических систем, математического моделирования режимов электроэнергетических систем, соответствием результатов теоретического анализа и вычислительных экспериментов, широкой практической апробацией результатов исследований диссертации, одобрением результатов работы российскими и зарубежными специалистами в ходе обсуждений, в том числе на конференциях.

5. Заключение о соответствии диссертации установленным критериям

Диссертационная работа Т.А.Васьковской в полном объеме отвечает критериям, которые установлены «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а именно:

5.1. Указанная диссертантом *цель работы* – разработка методов анализа оптимальных режимов ЭЭС, позволяющих выявить систему закономерностей между показателями экономичности функционирования ЭЭС в виде множителей Лагранжа и параметрами оптимальных режимов в современных рыночных условиях – *реализована в представленной диссертационной работе.*

5.2. *Автореферат диссертации* Т.А.Васьковской соответствует *диссертационной работе* по всем квалификационным признакам: по цели и задачам исследования; основным положениям, выносимым на защиту; определению актуальности, научной значимости, новизны, практической ценности и др.

5.3. *Основные выводы и результаты диссертационной работы* соответствуют поставленным задачам исследований и сформулированы автором структурно логично и содержательно.

5.4. *Научные публикации* Т.А.Васьковской, изданные в период работы над диссертацией, *соответствуют тематике диссертационной работы* и с достаточной полнотой отражают ее суть, основные результаты и выводы.

5.5. *Тема и содержание диссертации* Т.А.Васьковской *соответствует паспорту специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы»* (далее курсивом по тексту паспорта):

- **по направлению исследования**, связанному с анализом оптимальных режимов ЭЭС на основе множителей Лагранжа и реализующему получение существенных научно-технических результатов по *«... развитию и совершенствованию теоретической и технической базы электроэнергетики с целью обеспечения экономичного и надежного снабжения потребителей электроэнергией в необходимом количестве и требуемого качества ...»* в соответствии с формулой специальности;

- **по областям исследования** в соответствии с пунктами паспорта специальности:

п.6 «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике»,

п.7 «Разработка методов расчета установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем»,

п.8 «Разработка методов статической и динамической оптимизации для решения задач в электроэнергетике»,

п.10 «Теоретический анализ и расчетные исследования по транспорту электроэнергии переменным и постоянным током, включая проблему повышения пропускной способности транспортных каналов»,

п.13 «Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике»;

- **по объектам исследования** – электроэнергетическим системам – в части *«... электрических станций, электроэнергетических систем, электрических сетей ...».*

Диссертационная работа Т.А.Васьковской написана доступным грамотным языком, корректным в научном и техническом отношении. Особенно следует отметить высокий математический уровень изложения материала диссертации. Материалы и результаты исследований изложены в объеме, достаточном для понимания их сути. Результаты, полученные диссертантом, являются важным и весомым вкладом в теорию, методы и средства анализа оптимальных режимов ЭЭС в рыночных условиях.

6. Анализ содержания диссертации

Диссертация Т.А.Васьковской состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 318 страницах, содержит 95 рисунков и 45 таблиц. Список литературы включает 285 наименований.

Во Введении обосновывается актуальность исследований, выполняемых в рассматриваемой диссертации, формулируются цель и задачи исследований, определяются научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе приведен анализ литературы в части постановок и методов решения задач оптимизации режимов ЭЭС. Сформулирована полная нелинейная постановка задачи оптимизации, решаемой в диссертации. Выполнен анализ необходимых условий оптимальности и обоснована новая классификация узлов, базирующаяся на взаимосвязи параметров оптимального режима и множителей Лагранжа.

Вторая глава посвящена исследованию чувствительности решения задачи оптимизации установившегося режима ЭЭС к малым возмущениям. В главе приведен обзор литературы по вопросу анализа чувствительности, разработана схема взаимосвязи известных и неизвестных переменных (параметров режима системы и множителей Лагранжа) с использованием введенной новой классификации узлов. Сформулирована математическая модель чувствительности.

В третьей главе проводится анализ свойств множителей Лагранжа, выполнен обзор литературы по проблеме их декомпозиции, предложен новый метод декомпозиции относительно формирующих множители Лагранжа параметров целевой функции с одновременным расчетом веса различных факторов. Дана физическая интерпретация множителей Лагранжа на основе свойств оптимального режима ЭЭС.

В четвертой главе рассмотрены области применения математических моделей чувствительности и метода взвешенной декомпозиции множителей Лагранжа для решения различных задач, возникающих на оптовом рынке электроэнергии. Множители Лагранжа используются в качестве цен на рынке на сутки вперед и балансирующем рынке в ежедневно проводимых конкурентных отборах ценовых заявок участников оптового рынка электроэнергии. Наиболее исследованной областью анализа цен является рассмотрение условий, каким образом были отобраны заявленные субъектами рынка мощности. Отмечается, что до настоящего времени не существовало

теоретической базы, которая позволяла бы обосновывать формирование узловых равновесных цен, кроме понимания того, что они являются множителями Лагранжа к уравнениям баланса активной мощности. В главе обсуждаются и обосновываются различные аспекты интерпретации множителей Лагранжа при оптимизации режимов ЭЭС.

Пятая глава концентрируется на вопросах выделения в ЭЭС зон влияния различных факторов. Приводится сравнительный обзор подходов к такому выделению. Предложены новые подходы на основе использования весовых коэффициентов метода взвешенной декомпозиции. Разработан алгоритм сравнения зон друг с другом и выделения устойчивых зон. Полученные зоны могут использоваться, помимо выявления устойчивых зон, в различных целях: укрупнение и упрощение ЭЭС для прогнозирования перспективных оценок множителей Лагранжа; анализ стратегий участников рынка в периоды ограничений пропускной способности электрической сети. Множители Лагранжа, как характеристика оптимального режима, позволяют разделить ЭЭС на подсистемы таким образом, что между ними будут слабые связи.

В шестой главе рассмотрены эквивалентные модели ЭЭС и приведено обоснование принципов агрегирования ЭЭС на основе сохранения взаимосвязей между режимными параметрами и множителями Лагранжа. Рассмотрен подходящий для этого метод эквивалентирования ЭЭС. С использованием статистических данных сформированы модели для объединенных энергосистем (ОЭС) Сибири, Урала, Средней Волги, Северо-Запада и Юга.

Седьмая глава посвящена применению разработанных методов идентификации устойчивых зон влияния сетевых ограничений и формирования эквивалентных моделей ЭЭС применительно к оптовому рынку электроэнергии в России. Рассмотрены зоны высоких и низких множителей Лагранжа, сформированные для рынка на сутки вперед. Показано использование укрупненных зон и моделирование взаимосвязей множителей Лагранжа между ними для оценки экономических последствий при реализации схем и программ перспективного развития ЭЭС России.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

7. Вопросы и замечания по содержанию диссертации

7.1. На странице 9 диссертации утверждается, что у потребителей в настоящее время отсутствуют инструменты для управления спросом, поэтому оперативный спрос неэластичен. С другой стороны, на странице 25 сформулировано предложение о том, что оперативная эластичность спроса потребителей электроэнергии в работе учитывается. Возникает вопрос: какие инструменты имеет ввиду автор, которые могут обеспечить эластичность спроса потребителей в краткосрочной перспективе?

7.2. В выводах по главе 1 диссертации (страницы 51 – 52) отмечается, что выбор ограничений в моделях оптимизации, исследуемых в работе,

определяется решаемыми в России задачами для рынка на сутки вперед и балансирующего рынка. Учитывая исследовательский характер работы, правомерен вопрос: имеются ли другие, кроме используемых в России, задачи оптимизации для рассматриваемых рынков, для которых актуальны дополнительные ограничения?

7.3. На странице 11 автореферата диссертации в пункте «Теоретическая значимость работы» отмечается, что разработанные теоретические положения нацелены на решение практических задач. Представляется, что это утверждение не относится к теоретической значимости работы.

7.4. На странице 12 автореферата в разделе «Практическая значимость работы» отмечается, что результаты диссертации используются для «расчета перспективной стоимости электроэнергии на рынке на сутки вперед». Тем самым предполагается, что рынок электроэнергии на сутки вперед безусловно сохраняется на перспективу. Насколько безусловно такое предположение?

7.5. В шестой главе диссертации рассматривается формирование эквивалентных моделей для пяти ОЭС ЕЭС России. Почему выбраны именно эти ОЭС и не рассматриваются ОЭС Центра и ОЭС Востока, которые имеют к тому же специфическую электросетевую структуру?

7.6. Во Введении к диссертации и в автореферате было бы целесообразно дать краткое описание логики структуры работы и изложения результатов.

8. Общее заключение

Представленная диссертационная работа Т.А.Васьковской является самостоятельной научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней решена важная научно-техническая проблема анализа оптимальных режимов ЭЭС в рыночных условиях с использованием множителей Лагранжа. Задачи, решаемые в работе, объединены общей научной идеей конструктивного разностороннего использования взаимосвязей множителей Лагранжа с параметрами режима ЭЭС, что позволяет эффективно использовать этот аппарат для решения важных теоретически и практически проблем.

Основные научные выводы и практические рекомендации сделаны на основе глубокого анализа проблемы с использованием разработанных автором подходов и методов. Содержание представленной диссертационной 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 грамотным языком, выводы и рекомендации изложены аргументированно. Основные научные результаты работы подробно изложены в публикациях в рецензируемых изданиях из списка ВАК, а также индексированных в базах цитирования Scopus и Web of Science.

Сделанные в п. 7 замечания носят частный характер и не снижают в целом высокой положительной оценки диссертационной работы.

Диссертационная работа Т.А.Васьковской полностью отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а соискатель безусловно заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Официальный оппонент,
 Научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт систем энергетики им. Л.А.Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук», доктор технических наук (специальность 05.13.16), профессор, член-корреспондент РАН



Николай Иванович Воропай

Адрес: 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 130, каб. 206, тел. (3952) 424700, эл. адрес: voropai@isem.irk.ru



Сведения об официальном оппоненте

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

ФИО	Воропай Николай Иванович
Ученая степень и наименование отрасли науки, научных специальностей, по которым защищена диссертация	Доктор технических наук, 05.13.16 - Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (в энергетике)
Ученое звание	Профессор, член-корреспондент РАН
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы, должность	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, научный руководитель института
Почтовый адрес организации	664033, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130.
Телефон	+7(3952) 42-47-00
Адрес электронной почты	voropai@isem.irk.ru , ni.voropai@yandex.ru
Основные публикации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ayzenberg N.I., Voropai N.I. Price setting in the retail electricity market under the Bertrand competition // Procedia Computer Science. Vol.122. 2017. P.649-656. 2. Воропай Н.И. О принципах обоснования развития ЕНЭС России в рыночных условиях // Электроэнергия. Передача и распределение. №4. 2015. С.44-45. 3. Voropai N.I. Power system expansion planning – state of the problem // Global Journal of Technology and optimization. Vol. 2, No. 2. 2015. P. 1-7. 4. Воропай Н.И., Осак А.Б. Электроэнергетические системы будущего // Энергетическая политика. №5. 2014. С.60-63. 5. Voropai N.I., Zorkaltsev V.I. Optimization models and methods developed at the energy systems institute // International Journal of Energy Optimization and Engineering. Vol.2. No.4. 2013. P.1-15. 6. Воропай Н.И., Труфанов В.В. Исследование вариантов развития ЕЭС России на перспективу до 2030 г. // Электро.

	<p>Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. №3. 2013. С.2-6.</p> <p>7. Воропай Н.И., Беляев Л.С., Большаков И.С. и др. Проблемы электроэнергетических рынков в России и возможные пути их решения на основе модели «Единый покупатель» // Академия энергетика. № 4. 2013. С.13-16.</p>
--	---

Официальный оппонент Н. Воропай

Н.И.Воропай



Подпись Воропай Н.И. заверяю
 Зав. канцелярией ИССЭМ СО РАН
 [Подпись] Тавилова Г.Ч.
 подпись расшифровка подписи
 « 19 » 10 2018 г.