

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Герасименко Алексея Алексеевича

«Статистическая методология моделирования многорежимности в задаче оптимальной компенсации реактивных нагрузок систем распределения электрической энергии»,

представленную на соискание ученой степени

доктора технических наук по специальности

05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

I. Актуальность темы диссертации

Реформирование электроэнергетики в нашей стране и во всем мире неразрывно связано с мероприятиями по повышению эффективности использования электрической энергии, в частности, усилении надежности (бесперебойности) электроснабжения, повышении качества потребляемой ЭЭ, экономичности ее транспорта по линиям электропередачи.

В последние годы потребление электрической энергии не только в промышленности, но и в городах и сельской местности, железнодорожном транспорте, горнодобывающих предприятиях и проч. неразрывно связано с насыщением электроприемников всех видов реактивными элементами. В этой связи необходимо эффективно распределять потоки реактивной мощности между источником питания и пунктом приема ЭЭ, что в значительной влечет за собой повышение энергоэффективности и энергосбережения при оптимизации развития и функционирования электроэнергетических систем. И если мы говорим о такой оптимизации, в первую очередь, следует иметь ввиду оптимальную загрузку существующих источников реактивной мощности (ИРМ) и установку новых компенсирующих устройств (КУ) в сетях 0,38–6, 10 (20) кВ и некоторых узлах 35–150 (220) кВ сетевых компаний. Следовательно, для получения наибольшего экономического эффекта от КРМ необходимы методы и алгоритмы, позволяющие производить оптимальный выбор устанавливаемой мощности и мест размещения ИРМ, КУ в системах распределения ЭЭ, а также оптимизацию выработки РМ существующих источников. В этой связи тематика представленного научного исследования имеет *высокую актуальность*, поскольку решение поставленных задач в диссертации находит отклик не только в электроэнергетической отрасли нашей страны и, собственно, её топливно-энергетическом комплексе, но и экономической стабилизации и национальной безопасности государства.

II. Общая характеристика диссертации

Диссертация содержит 344 страницы основного текста, 30 рисунков, 41 таблицу, состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы, состоящего из 333 наименований, включая 32 наименования в иностранных изданиях, а также 13 приложений, включающих документы, подтверждающие внедрения результатов работы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы: объект и предмет исследования, цель работы, а также задачи, которые необходимо решить в диссертации для достижения поставленной цели; отмечены обоснованность и достоверность научных положений и выводов, а также научная новизна и значимость исследования, его ценность для науки и практики. Кроме того, представлены основные положения, которые автор выносит на защиту диссертации, практическая реализация результатов исследования, а также те форумы, на которых в разное время докладывались основные теоретические предпосылки научной работы.

Вместе с этим во введении, на мой взгляд, существует несколько не совсем корректных положений.

1. Стр. 10. Актуальность проблемы. Написано: «Проблема КРМ вызвана высокой загрузкой элементов систем распределения ЭЭ потоками реактивной мощности (РМ) вследствие значительного её потребления из сетей». Но, по сути, о потреблении говорить, на мой взгляд, не совсем корректно, поскольку реактивная мощность характеризует скорость обмена электромагнитной энергией между источником питания и пунктом приема (имеющего реактивные элементы в своем составе). То есть происходит обмен, со скоростью распространения электромагнитной волны. Если бы она потреблялась приемником, не было бы возврата Q_L вновь к источнику, и вопрос компенсации бы и не поднимался. Поэтому мы и компенсируем определенную, установленную расчетом, часть возвращающейся к источнику Q_L .
2. Стр. 15. Написано: «С другой стороны, фактические значения показателей качества электроэнергии зависят от наличия или отсутствия в сети компенсирующих устройств». Этот тезис тоже не совсем корректен, поскольку есть показатели качества ЭЭ, которые могут изменять свои значения вне зависимости от наличия КУ. Например, такие, как показатели, характеризующие несимметрию трехфазной системы напряжения, зависящие от загруженности фаз, случайного характера коммутаций однофазных нагрузок, аварийных процессов, приводящих к несимметрии напряжений и токов. Отчасти сюда же можно отнести и отклонение частоты напряжения электропитания, которое определяется, по большей части, балансом генерируемой и потребляемой нагрузкой активной мощности.
3. На мой взгляд, в «Основных положениях и результата, выносимых на защиту» (стр. 23) можно было бы объединить пункты 8 и 9 в один. Тогда бы и количество поставленных задач соответствовало количеству положений, выносимых на защиту.

В первой главе диссертации «Методы оптимизации режимов по реактивной мощности и расчёта потерь электроэнергии в распределительных сетях энергосистем», автор вновь возвращается к актуальности проблемы и достаточно подробно рассматривает причины, побуждающие осуществлять КРМ на объектах электросетевого хозяйства, а также те преимущества и результаты, которые позволяют получить решение проблемы КРМ. При этом автор подробно останавливается на перечне задач, которые необходимо решать в ходе КРМ. Очень подробно рассмотрена история возникновения и решения проблемы КРМ на протяжении большого временного периода, с подробным рассмотрением руководящих указаний и постановлений Правительства СССР и России. На мой взгляд, этот анализ будет очень полезен профессорско-преподавательскому составу ВУЗов, обучающим студентов по электроэнергетическим специальностям, в которых рассматриваются вопросы КРМ с тем, чтобы заинтересовать будущих специалистов в этой проблеме. То же самое относится и к специалистам, повышающим свою квалификацию.

Осуществлена математическая постановка оптимизационной задачи, выбора КУ и ИРМ, осуществлен анализ замены выбора КУ по статическому критерию на их выбор по критерию динамическому. Анализ очень подробный с учетом «слабых(узких)» мест при этой реализации, а также использования адаптивного подхода при выборе КУ, ИРМ. И в этом разделе диссертации чувствуется высокий профессионализм автора, его глубокий анализ литературных источников в нашей стране и за рубежом, позволяющих автору обосновать разработку оптимального математического аппарата, учитывающего многорежимность, на основе обобщенного метода приведённого градиента, а также матрицы корреляционных моментов нагрузок.

Формирование целевой функции приведенных затрат, автором также произведено на основании многостороннего анализа данных в различных источниках РМ, а также КУ, а также более подробного анализа программ и комплексов, выполняющих оптимизацию режима РМ и напряжению.

Также в этой главе дана характеристика методов расчёта потерь электроэнергии в распределительных сетях с учётом многорежимности, а также подробно проанализированы упрощённые методы расчёта этих потерь и их информационное обеспечение в электрических сетях разного напряжения.

К замечаниям и рекомендациям по первой главе можно отнести следующее.

1. Стр. 30. Хотелось бы пояснения к подрисуночной надписи (рис. 1.2). Что автор понимает под термином «Выработка РМ на местах потребления»? Выработка привязана к единице времени. И она не может быть постоянной величиной.
2. Стр. 31. Написано: «Установка КУ в сетях потребителей напряжением 0,38–6, 10 (20) кВ – это задача потребителей ЭЭ». На мой взгляд, следовало бы упомянуть, что

предварительно проект выбора наиболее целесообразной системы электроснабжения любого объекта, в первую очередь, вообще то проектируются организациями которые создают наиболее эффективные проекты электроснабжения с учетом расчетных значений мощностей КУ.

3. Не совсем понятно...Стр. 33. «...за генерацию (потребление) реактивной энергии при среднемесячном потреблении более 30 тыс. кВт·ч...». Речь об активной или реактивной энергии...? Возможно имеется в виду квар.ч?
4. Стр. 35. Из истории. Автор ссылается на постановление РАО ЕЭС от 2005 года и тут же ссылается на соответствие ПКЭ ГОСТу 32144-2013. Но в 2005 г. действовал ГОСТ от 1997 года. ГОСТ 32144-2013 поступил в электроснабжающие компании с 1 июля 2014 года.
5. Формула (1.5) на стр. 42. Символ ∂ в математике обозначает частную производную, его использование, вообще говоря, некорректно, тем более, что ниже используется символ Δ . Функция издержек И в (1.4) зависит от одного аргумента, а в (1.5) она уже зависит от трёх аргументов, всё-таки сколько аргументов у этой функции?
6. Стр. 54, первый абзац параграфа 1.5. Ссылка на вариационное исчисление некорректна, поскольку в диссертации не рассматриваются задачи именно вариационного исчисления. А вот градиентные методы и т.д. в рамках линейного и квадратичного программирования – это как раз классические (а не неклассические) методы. Кроме того, методы никогда не формируют условий оптимальности, они ищут решение используя условия оптимальности.

Во второй главе: «Вероятностно-статистическое моделирование графиков нагрузок узлов распределительных электрических сетей» автором обоснована необходимость применения стохастического подхода на основе факторного анализа нагрузок. В этом случае автор также продемонстрировал незаурядную способность к анализу исходной информации и соответствующему принятию решений на основе такого анализа. При этом очень подробно учитывается именно вероятностный характер электроэнергетических задач, электрических нагрузок и расчётов интегральных характеристик, при которых осуществляется моделирование электрических нагрузок распределительных сетей. Для формулировки статической модели нагрузок автор рассматривает возможность использования факторного, компонентного и регрессионного анализа.

Кроме того, моделирование электрических нагрузок произведено на основе факторного анализа, что позволило выявить общие и наиболее устойчивые закономерности изменения мощностей нагрузок, выполнить свёртывание (сжатие) информации о многорежимности на основе малого числа обобщающих факторов с последующим их применением при расчёте потерь ЭЭ и других интегральных параметров с использованием матрицы корреляционных моментов нагрузок, которая позволяет практически полно учесть многообразие режимов работы системы и с достаточной точностью определить интегральные характеристики режимов в распределительных

электрических сетях номинальных напряжений 6–110 (220) кВ любой конфигурации.

Автором разработаны алгоритмы стохастического анализа многорежимности в распределительных электрических сетях и системах любой конфигурации, позволяющие определить интегральные характеристики режимов с достаточной для практических целей точностью. Для нахождения потерь электрической энергии в диссертации использован комбинированный алгоритм на основе стохастического и детерминированных методов.

В качестве замечаний и пожелание по этой главе хотелось бы отметить следующее.

1. Стр. 112, начало 4-го абзаца: *«Несимметричные матрицы в системе MATLAB могут быть плохо обусловлены при вычислении их собственных значений»*. Следует отметить, что данное умозаключение не согласовано. Плохая обусловленность матрицы – это её свойство, независимо от системы MATLAB и многих других аналогичных систем. Ведь из фразы следует, что плохая обусловленность возникает именно в системе MATLAB, зачем же тогда этот MATLAB использовать. Далее, плохая обусловленность якобы возникает при вычислении собственных значений, т.е. при решении системы линейных уравнений с той же матрицей всё будет в порядке. На самом деле, плохая обусловленность создаёт проблемы при решении всех задач, а не только при вычислении собственных чисел.
2. На стр. 115 сказано: *«Доказано, что свойству **a** соответствуют ОГН, полученные по формуле (2.21), а свойство **б** выполняется в чистом виде при условии нормирования ОГН (2.21) на соответствующие евклидовы длины»*. Если это доказано, необходимо бы привести ссылку на соответствующий источник.
3. Стр. 127, выражение *...более чем 75% или 90%*. Общий процент вклада β в дисперсию вычисляется по выражению $\beta = \frac{\sum_{k=1}^M \lambda_k}{\sum_{i=1}^{2n} \lambda_i} \cdot 100\%$; $75 \leq \beta \leq 95\%$. (2.31)

Дополнение $75 \leq \beta \leq 95\%$. - лишнее, поскольку (2.31) - это условие, а не формула для вычисления.

4. На стр. 129 не понятно, что указано в скобках... *«В качестве критериев точности моделирования приняты абсолютное среднее линейное отклонение расчётных () от эталонных значений мощностей нагрузок....»*.

В третьей главе: «Статистическая методология определения интегральных характеристик режимов электрических систем» автор предлагает стохастическую модель учёта множества установившихся режимов электрической сети произвольной конфигурации на основе статистического моделирования МКМ для определения интегральных характеристик в распределительных сетях 6–110 (220) кВ. Сформулированы алгоритмы и обоснована целесообразность расчёта интегральных

характеристик стохастическим методом. Решение задачи оптимальной компенсации реактивной мощности (КРМ) базируется на учёте всей совокупности режимов в виде их интегральных характеристик, прежде всего потерь ЭЭ, являющихся целевым критерием решения эксплуатационной задачи с определением оптимальной загрузки существующих КУ, и входящих в состав целевой функции расчётных затрат решения проектной задачи с определением мощности и мест установки новых КУ. При этом блок расчёта потерь ЭЭ является одним из центральных в алгоритме оптимальной КРМ. Исследована точность расчета потерь электроэнергии для реальных схем электрических сетей напряжением 6-220 кВ Красноярской Энергосистемы. Составлена блок-схема алгоритма получения ОГН, которая учитывает влияние различных факторов с помощью применения поправочных коэффициентов.

Несколько замечаний по этой главе:

1. Стр. 149, абзац после формулы (3.27): «В большинстве случаев вероятность того, что...приблизительно равна 0.0027». Не надо в большинстве случаев, просто вероятность равна 0.0027.
2. Также на стр. 149. Автор пишет: «Если закон распределения случайной величины неизвестен, а известны MX и σx , то обычно считают отрезок $MX \pm 3\sigma x$ участком практически возможных значений случайной величины». Кто считает? Нужна ссылка на источник. Далее ниже, «В связи с этим перепишем неравенство (3.27) к(?) практически пригодному виду $MX - k\beta\sigma x \leq x \leq MX + k\beta\sigma$, где значение коэффициента $k\beta$ определяется вероятностью (уровнем достоверности β)». Прежде всего потерял индекс x у σ в правой части неравенства (надо σx вместо просто σ). В (3.27) нет никакого уровня достоверности β , поэтому переписать (3.27) в виде (3.28) не получится. Двустороннее неравенство (3.28) похоже на доверительный интервал, а это нечто другое, нежели неравенство Чебышева.

В четвертой главе: «Исследование влияния схемно-структурных и режимно-атмосферных факторов при определении потерь электроэнергии» автором предлагается методика комплексного учёта многорежимности, а также влияния ряда схемно-структурных и режимно-атмосферных факторов на точность расчёта нагрузочных потерь ЭЭ в сетях напряжением 6 – 35 кВ. Предложен метод эквивалентирования транзитных линий, обеспечивающий обозримость эквивалентруемой части транзита с позиций суммарных потерь активной мощности и ЭЭ. Представлена зависимость дополнительного нагревания проводов различной площади сечений сетей 6-10 кВ при определенных значениях атмосферных условий.

Есть затруднение в понимании:

Стр. 217, формула

$$\Delta \mathcal{E} = \sum_{j=1}^m \int_0^T \Delta P_j(t) dt = \sum_{ij}^{n+1} \int_0^T \Delta P_{ij}(t) dt = M \Delta \mathcal{E} + \sigma \Delta \mathcal{E}$$

Без пояснения непонятно следующее: сначала величина ΔP появляется с одним индексом j , причем он изменяется от 1 до m . Затем ΔP появляется с двумя индексами, уже изменяющимися до $n + 1$. Самое главное непонятно, чему равно $M \Delta \mathcal{E}$, а чему $\sigma \Delta \mathcal{E}$, как эти величины вычисляются?

В пятой главе: «Методика и алгоритм оптимального выбора источников реактивной мощности в системах распределения электрической энергии» автором представлены математические модели и алгоритмы решения частных эксплуатационных задач оптимизации мгновенных режимов и стохастической оптимизации с учётом всего множества режимов на интервале времени, на основе которых разработаны методика и алгоритм решения проектной задачи оптимального выбора ИРМ с учётом всей совокупности режимов. Предложены два способа определения устанавливаемой мощности КУ на основе моделирования нагрузок обобщёнными графиками: в виде максимального значения графика РМ и максимального значения диапазона в соответствии с неравенством Чебышева. Разработаны методика и алгоритм оптимального выбора ИРМ, которые позволяют решить проектную задачу при планировании развития системы распределения ЭЭ.

Не совсем понятно следующее.

Стр. 243-244, формула (5.3). Формируется задача минимизации функции (5.30) при ограничениях (1.13) и (1.14). Однако, в (1.13) и (1.14) используются другие обозначения, поэтому непонятно, какие переменные оптимизируются?

Шестая глава диссертации посвящена программной реализации разработанных алгоритмов стохастического определения интегральных характеристик режимов ЭС и детерминированного расчёта потерь ЭЭ по данным модернизированной системы головного учёта, комбинирования этих алгоритмов. Приведено описание, представлены детальные блок-схемы программных модулей (составляющих) и вычислительных программ для ЭВМ.

В заключении сформулированы основные выводы, полученные по главам диссертационного исследования.

III. Общая методология и методика исследования

Разработанные математические модели и методы, вычислительные алгоритмы и программные средства для ЭВМ позволяют повысить обоснованность и эффективность решения задач краткосрочного развития и анализа множества режимов систем распределения ЭЭ с частично неопределённой информацией посредством компактного стохастического учёта и моделирования многорежимности систем. Эти методики являются развитием теории и методов математического моделирования ЭЭС, стохастического учёта и моделирования множества установившихся режимов систем распределения ЭЭ, создают теоретическую основу для развития стохастических методов и вычислительных алгоритмов оптимизации режимов и оптимального выбора ИРМ, расчёта и анализа потерь ЭЭ в системах распределения ЭЭ, в том числе в условиях частичной неопределённости информации; представляют теоретический задел для разработки программного обеспечения общесистемного (отраслевого) уровня. Они могут быть использованы в научно-исследовательских институтах и организациях, занимающихся разработкой методик и программного обеспечения для энергетических предприятий в части формирования условий потребления РМ, в сетевых компаниях, проектных организациях для расчёта, анализа и оптимизации электрических режимов, расчёта потерь ЭЭ и выполнения структурного анализа потерь, нормирования потерь и оценки балансов ЭЭ, для эффективной компенсации реактивных нагрузок и оптимального выбора КУ с ограничением и без ограничений на их суммарную мощность с реализацией комплексного системного эффекта, в том числе за счёт снижения потерь ЭЭ.

IV. Научная новизна полученных результатов

А.А. Герасименко получен большой массив результатов исследований, соответствующих в полной мере критерию новизны. Последнее подтверждается публикациями статей в ведущих журналах РФ (в том числе, входящих в список изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций). Наиболее значимыми из этих результатов, по мнению оппонента, являются следующие:

1. Научно обоснована оценка сложившейся ситуации в системах распределения ЭЭ, касающаяся выявления причин возникновения проблемы регулирования перетоков реактивной мощности и способов определения параметров компенсации реактивной мощности.

2. Сформулированы и обоснованы методические основы формирования динамического функционала, критерия решения стохастической многоэтапной оптимизационной задачи краткосрочного развития систем распределения ЭЭ на основе адаптивного подхода.
3. Предложена модифицированная методика статистического сжатого моделирования и реконструкции информации о реальных коррелированных электрических нагрузках ортогональными главными факторами, реконструкции графиков нагрузки систем распределения ЭЭ, характеризующихся недостаточной информационной обеспеченностью.
4. Разработана математическая модель совокупности установившихся электрических режимов, алгоритмы и программа для ЭВМ расчёта интегральных характеристик систем распределения ЭЭ (программа SETI).
5. Разработан комплекс методов, способов и вычислительных алгоритмов снижения методической ошибки при определении потерь электроэнергии модифицированным детерминированным методом в нормальных и ремонтных режимах работы распределительных сетей (программа REG10PVT).
6. Разработана модификация метода обобщённого приведенного градиента в алгоритмах оптимальной компенсации РМ при стохастическом учёте и моделировании многорежимности в задачах эксплуатации и краткосрочного развития систем распределения ЭЭ.
7. Разработаны методика и алгоритм решения проектной задачи оптимального выбора источников реактивной мощности в системах распределения ЭЭ с учётом всей совокупности характерных режимов.
8. Разработаны алгоритмы и программа для ЭВМ решения эксплуатационной задачи оптимальной компенсации реактивных нагрузок при статистическом учёте всей совокупности характерных режимов на заданном интервале времени (программа ORESA).

V. Степень обоснованности и достоверности научных положений выводов и рекомендации, сформулированных в диссертации и их практическая значимость

Достоверность полученных автором результатов и, соответственно защищаемых положений и выводов определяется логической связанностью всех этапов диссертационного исследования. Выполнен очень большой объем сложных по разработке, реализации, обработке результатов исследований, а

также их практическому применению. Полученные результаты исследований многократно апробировались на авторитетных Международных и Всероссийских форумах, что также является косвенным обоснованием их достоверности и обоснованности. Кроме того, достоверность исследований подтверждается также и большим количеством актов внедрения в электрических сетях ОАО «Красноярскэнерго» и АО «Хакасэнерго», филиала ОАО «СО ЕЭС» Красноярское РДУ, ЗАО «Компания «Электропроект – Сибирь», проектных предприятий, а также в научной работе и учебном процессе подготовки инженеров и магистров электроэнергетических специальностей Политехнического института Сибирского федерального университета. Три программы расчёта потерь ЭЭ и оптимальной компенсации реактивных нагрузок зарегистрированы в государственном в Реестре программы для ЭВМ. Российской Федерации. Следует учитывать также и тот факт, что под руководством А.А. Герасименко выполнены и защищены 4 кандидатские диссертационные работы.

Таким образом, все выводы, представленные автором в заключении диссертационного исследования обоснованы, имеют научную новизну и практическую направленность, а именно:

Вывод 1 теоретически обоснован, является значимым для эффективного решения задачи экономического регулирования перетоков реактивной мощности.

Вывод 2 – научно обоснован, является новым и практически значимым.

Вывод 3 – научно обоснован, практически значим.

Выводы 4,5,6,7 – научно обоснованы, представляют теоретический и практический интерес.

Выводы 8,9,10 – научно обоснованы, представляют практическую ценность.

VI. Заключение

Указанные замечания по главам отнюдь не снижают ценности, полученных автором результатов. Диссертация А.А. Герасименко является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований, соответствующих критерию новизны, в которой изложены научно обоснованные методологические и технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Диссертация А.А. Герасименко соответствует специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы. Автореферат диссертации полностью соответствует тексту рукописи и отражает основные положения диссертационного исследования. Диссертация написана хорошим

русским языком, прекрасно отчитана и практически не содержит грамматических и стилистических неточностей.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации А.А. Герасименко «Статистическая методология моделирования многорежимности в задаче оптимальной компенсации реактивных нагрузок систем распределения электрической энергии» можно сделать обоснованное заключение о том, что диссертационное исследование соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 21.04.16 г. № 335), а его автор *Герасименко Алексей Алексеевич* заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 - Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент,
Засл. работник ВО РФ, профессор
кафедры Электроснабжения и
электротехники Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования Иркутского
национального исследовательского
технического университета,
доктор технических наук,
профессор

Игорь Владимирович Наумов

22 октября 2018 г.

адрес: 664074 г. Иркутск
ул. Лермонтова, 83
ФГБОУ ВО ИРНИТУ
E-mail: professornaumov@list.ru
Тел.: +7(924)6088990

