

## ОТЗЫВ

официального оппонента – доктора технических наук, профессора Гольдштейна Валерия Геннадьевича на диссертацию Мухлынина Никиты Дмитриевича «Управление распределительными сетями с использованием потоковой модели установившегося режима», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

### 1. Актуальность проблемы и темы диссертационной работы

Специфика построения и эксплуатации организации распределительных электрических сетей (РЭС) 6-35 кВ полностью отражается в организации системы и формировании систем и средств управления режимами ее работы самой электрической схемой. В предыдущем и в настоящее время они весьма ограничены по своему составу, а необходимая для управления информация формируется персоналом в основном без применения современных средств ее получения, сбора и обработки.

Анализ отечественных и зарубежных работ в этом направлении показывает, что в настоящее время научно-методический аппарат реализации современной концепции управления эксплуатацией РЭС недостаточно разработан. В то же время в них расширяется внедрение идеологии, концепций и конкретных реализаций характерных составляющих интеллектуальных электрических сетей (ИЭС), в частности, средств распределенной генерации (РГ), инновационного коммутационного электрооборудования, локально-замкнутых электрических схем и др. Это в значительной мере отражается на формировании математических моделей (ММ) РЭС, используемых для решения задач оценки состояния (ОС) и их программного обеспечения.

Отметим, что в РЭС 6-35 кВ крайне недостаточно систем сбора данных измерений токов, напряжений и потоков мощностей, на которые в подавляющем большинстве случаев опираются аналогичные ММ, известные в реализации управления режимами сетей высоких напряжений.

Но в РЭС 6-35 кВ в настоящее время и в перспективе уже все большее распространение получают технологии интеллектуальных измерений на основе микропроцессорных счетчиков ЭЭ, используемых в составе автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) и, в частности, для

расчета по результатам опроса мощности и других показателей. Поэтому можно обоснованно констатировать актуальность использования интеллектуальных данных АСКУЭ о потоках электрической энергии и мощности для решения задач ОС, которые уже в настоящее время являются значительной частью оперативной информации о текущем или прогнозируемом состоянии РЭС.

С этой точки зрения предлагаемую в рецензируемой работе Мухлынина Н.Д. *потоковую модель (ПМ) для определения параметров ОС*, то есть режима РЭС, можно определить как важный элемент в формировании нового подхода в управлении эксплуатацией перспективных РЭС. В отличие от классической модели установившегося режима (УР) предлагаемая ПМ имеет в составе вектора состояния мощности или энергии в узлах и ветвях сети.

ПМ обладает рядом преимуществ, таких как использование данных АСКУЭ как состоятельной фактической информации о режиме сети и возможность перехода от них к усредненным потокам мощности на определенных интервалах времени, «... возможность решения задачи УР при отсутствии базисного узла в условиях схемно-режимных изменений», учет ветвей с резко отличающимися (в том числе нулевыми) сопротивлениями, наличие ненаблюдаемых участков РЭС и др.

Это позволяет получать корректные решения в условиях существенных различий в изменяющемся качественном составе участников технологических процессов РЭС от обычных потребителей до независимой РГ и «... монопотребителей с собственной генерацией и электрической сетью...». При этом, в отличие от классических условий решения задач УР, эти участники организуют свое энергообеспечение исходя из своих критериев оптимальности с формированием своих конкретных целевых функций оптимизации.

Сказанное выше определяет *актуальность* темы и направления диссертационной работы Мухлынина Н.Д., посвященной научному обоснованию и разработке ПМ управления режимами современных и перспективных РЭС.

## **2. Оценка содержания диссертации**

Представленная к защите диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений.

**Во введении** приведено обоснование актуальности исследований и раз-

работки методов моделирования РЭС как комплекса централизованных источников питания и РГ, а также устройств передачи, распределения и потребления ЭЭ и информационно-измерительной инфраструктуры. Сформулированы цель и задачи работы, с достаточной полнотой отражены ее научная новизна и практическая значимость, положения, выдвигаемые на защиту и др.

**В первой главе** рассмотрены способы реализации существующих и перспективных конфигураций построения РЭС 6-35 кВ. Проведен анализ и обобщены отечественные и зарубежные тенденции к формированию замкнутых кольцевых структур, обеспечивающих их надежность и управляемость при наличии РГ. Произведена оценка определяющих сопутствующих факторов, таких как увеличение токов коротких замыканий, усложнение релейной защиты и коммутационного комплекса, что продиктовано требованиями корректной работы РЭС совместно с РГ. Отмечены тенденции развития применения локально и глобально кольцевых схем электроснабжения потребителей, схемно-эксплуатационного многообразия РЭС, вызванного естественными техническими несоответствиями расчетной схемы и ее реального состояния, использования микропроцессорных счетчиков, позволяющих измерять ЭЭ и рассчитывать мощность в местах их установки с определенной периодичностью опроса, конкурентного снижения роли диспетчерского управления в пользу «интеллектуального» автоматизированного и др.

Важными моментами данной главы является подробная классификация и оценка перспектив развития схем РЭС, подробный анализ построения системы сбора информации о режиме работы распределительной сети с подробной характеристикой особенностей применения для этого интеллектуальных микропроцессорных счетчиков электроэнергии. При этом отмечена характерная тенденция сближения реализации управления сетей 6-35 кВ и 110 кВ и выше.

**Во второй главе** автор рассматривает принципы и реализацию новой математической модели для решения задач ОС в сетях 6-35 кВ с помощью уравнений балансов мощности или энергии в узлах и ветвях схемы. При этом отмечают преимущества использования уравнений ПМ в задаче оценки режимных параметров по отношению к традиционной постановке задачи ОС с использованием классических уравнений установившегося режима в форме уравнений узловых напряжений.

Полученная математическая модель и разработанные автором методы и

алгоритмы ее реализации позволяют устойчиво решать поставленную задачу оценивания состояния РЭС 6-35 кВ при недостаточности состава измерительной информации, при наличии ненаблюдаемых фрагментов сети с помощью эквивалентирования ненаблюдаемых ветвей и связей с нулевым сопротивлением.

**В третьей главе** рассматривается комплекс математических моделей и исследований по оптимизации и повышению эффективности работы различных участников энергообмена в РЭС, каждый из которых определяет свою траекторию при реализации режимов работы РС в целом. При этом учитываются наличие в РЭС конкретного состава современных коммутационных аппаратов, РГ в том числе устройств компенсации реактивной мощности, регулирования напряжения. Автор предлагает целевую функцию (ЦФ) задачи оптимизации как функционал затрат на компенсацию потерь, покупку ЭЭ из сети, на выработку ЭЭ собственными устройствами РГ, на оплату за отклонение фактических потребления ЭЭ и ее выдачи. Кроме того, в состав ЦФ входит доход от продажи ЭЭ в сеть, который в ЦФ учитывается с обратным знаком. Каждая составляющая имеет свой мультипликативный весовой коэффициент, определяемый из условия приведения к единому расчетному интервалу времени.

В построении ЦФ учитываются расчетные потоки энергий и средние значения узловых напряжений. При этом показания счетчиков используются на коротких интервалах времени, ориентированных на высокоманевренные устройства управления режимами РС.

По мнению рецензента, математическая модель и решения задачи оптимизации, на основе предложенной ЦФ позволяют снизить затраты на энергообеспечение различных участников энергообмена с учетом их стратегических и тактических интересов и доступности имеющихся в их распоряжении устройств управления режимами.

**В четвертой главе** рассматривается комплекс актуальных стратегий оптимизации участка сети 10 кВ, на территории которой отдельными ее частями владеют различные собственники. В данной сети заявлены современные интеллектуальные устройства, с помощью которых осуществляется снижение затрат на энергоснабжение, а именно:  $P$  и  $Q$  установки РГ,  $P$  накопители ЭЭ, современные коммутационные аппараты, РПН силовых трансформаторов и др.

Автор формулирует построение автоматизированного устройства управления процессом электроснабжения (АУУПЭ) микросети. Описаны его алгоритмическая модель и информационная среда, содержащая техническую информацию о режиме работы сети, ценовые показатели, определяющие эффективность работы участников энергообмена в сети и рассматривается пример работы этой сети в условиях использования централизованного источника и РГ в виде дизель-генераторной установки мощностью  $P_e=1600$  кВт и возможности работы сети в замкнутой и 4 разомкнутых конфигурациях. Рассматривался суточный интервал с периодами «дорогой и дешевой» ЭЭ. Наиболее эффективный вариант – замкнутая конфигурация сети определена по значениям расчетных относительных потерь ЭЭ за сутки.

В заключении представлены основные результаты работы в виде обобщенных выводов.

В двух приложениях приведена информация о внедрении выполненных разработок в учебный процесс УрФУ и в ООО «Прософт-Системы» ПТК ARIS-SCADA.

### 3. Научные результаты диссертационной работы и анализ их новизны

По мнению официального оппонента, научную новизну и ценность диссертационной работы Мухлынина Н.Д. определяют следующие результаты.

**Новая модель УР** для принятия решений в задачах мониторинга и управления в РЭС 6-35 кВ, отвечающая ее схемно-режимному и информационному состоянию. Эта модель устойчиво работает в целом для РЭС с учетом ветвей с нулевыми сопротивлениями, что характерно для выключателей. Отметим, что этот момент связан со значительными затруднениями в аналогичных существующих решениях.

**Новое решение задачи ОС** с использованием данных измерений не только от датчиков тока и напряжения, но и от счетчиков – фактически датчиков потоков электроэнергии и усредненных значений мощности на разных интервалах времени в элементах сети.

**Новый комплексный подход** к организации энергообеспечения различных собственников РЭС и устройств управления, основанный на решении задач оптимизации общего и парциальных режимов с учетом состава и регламентов

работы согласно набору затратных составляющих (функций), выраженных в рамках расчетного вектора ПМ.

*Оригинальное раздельное управление активными устройствами с дискретным и непрерывным характером управления режимом работы РЭС.*

*Новый информационно-алгоритмический комплекс интеллектуального обеспечения адаптивного управления электроснабжения микросети с многофункциональным составом.*

По мнению оппонента, названные выше положения являются новыми оригинальными научными разработками автора работы.

#### **4. Практическое значение диссертационной работы**

Полученные Мухлыниным Н.Д. научные результаты имеют важную практическую значимость. Значительным практическим результатом является *реализация* новой ПМ режима работы сети 6-35 кВ, которая представляет собой современное средство для построения интеллектуальных систем управления режимами работы РЭС 6-35 кВ, ОС и оптимизации с помощью программных комплексов и микропроцессорных систем управления.

Несомненным достоинством диссертации Мухлынина Н.Д. является то, что полученные им результаты решения поставленных в работе задач обеспечивают РЭС 6-35 кВ необходимой базой для верификации и подтверждения достоверности данных ОС. Основой для этого являются сравнения и анализ соответствия с данными применения классических моделей математического описания УР сетей 6-35 кВ, экспериментальных исследований, опыта эксплуатации и практического внедрения в электроэнергетических предприятиях России.

#### **5. Оценка достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Результаты, полученные Мухлыниным Н.Д. в диссертационной работе, являются реализацией математического аппарата для РЭС, лишенного данных недостатков, ограничивающих применимость классической модели для математического описания УР сетей 6-35 кВ.

**Достоверность названных результатов** базируется на корректном использовании основных положений анализа режимов РЭС, теории управления, научно и практически обоснованных математических методов автоматизиро-

ванного управления процессом электроснабжения для различных участников энергообмена в РЭС и системах электроснабжения отдельных потребителей.

Кроме того, достоверность обеспечивают корректно использованные методы сбора и отображения режимной информации, а также современные программные процедуры. Основные научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе, получены Мухлыниным Н.Д. на основе применения современных методов создания систем управления и собственно теории управления, системного подхода, тщательно проведенных компьютерных экспериментов и др.

## 6. Дискуссионные положения и замечания

Некоторые положения диссертационной работы имеют дискуссионный характер и, кроме того, оппонентом отмечен ряд замечаний.

1. Неясно различие схем, приведенных в тексте диссертации и в автореферате и поясняющих перспективы использования замкнутых кольцевых схем в РЭС, а также неясен принцип расстановки в этих схемах коммутационных аппаратов.
2. Автор неоднократно упоминает в тексте диссертации и автореферата *накопители электроэнергии*, но никакой информации кроме этого не приводит. Эти утверждения требуют не только обоснования, но и практической информации об условиях работы этих электроустановок.
3. Трудно предположить широкое применение в распределительных электрических сетях 6-35 кВ дорогостоящих устройств гибкой компенсации реактивной мощности, в частности, статических гибких компенсаторов СТАТКОМ и др.
4. Неясно, как решается вопрос о формировании данных от используемого интеллектуального счетчика Меркурий-230 и более совершенных АЛЬФА А1800 и ЕвроАЛЬФА при двух направлениях потоков энергии для потребителей, имеющих собственную генерацию.
5. В выводах по главе 2 констатируется, что потоковая режимная модель легла в основу создания расчетного ядра для программно-технического комплекса ARIS-SCADA, расширяя возможности традиционной SCADA системы. Однако конкретные результаты внедрения разработки ни в составе главы, ни в приложении к диссертации не представлены.
6. Формируя временную схему расчетных интервалов и интервалов реализации

управления режимами активных устройств, имеющих непрерывный характер управления, автор должен дать рекомендации для ее реализации в условиях организационных ножиц: увеличения количества этих устройств и финансовых ограничений (затрат) на эксплуатацию. Использование при этом допущения об отсутствии связи между отдельными расчетными интервалами времени и ретроспективных данных фактически противоречит самой идее оптимизации.

7. Отмечен ряд не принципиальных ошибок и неточностей:

- в конце стр. Д16 не корректно описание РЭС будущего как предназначенных только «...для устранения текущих недостатков в работе...»; здесь и далее буквы «Д» и «А» в ссылках на номера страниц соответствуют Диссертации и Автореферату.
- далее на стр. Д17 (абзац 1) в констатации способности ИЭС РЭС к самовосстановлению автор для подтверждения ссылается на работу [22] по теории распространения, преломления и отражения бегущих волн в длинных линиях;
- также при обсуждении источников информации о режиме РЭС на стр. Д39 неясна ссылка на учебник [44], изданный раньше появления систем АИИС КУЭ (-ТУЭ), Smart-WAMS и интеллектуальных счетчиков;
- не согласованы данные на стр. А12, где в рис. 3 для определения  $Q_2$  используется  $tg\varphi = 0.8$ , а на той же стр. А12 в таблице 2 -  $cos\varphi = 0.8$ ;
- без снижения качества диссертации можно было бы не излагать большую часть сведений §1.4 на стр. Д39 – 42;
- неудачен стиль последнего абзаца на стр. Д55;
- на стр. Д108 в утверждении: «Для участка тестовой РС, изображенной на рисунке 2.6, система уравнений (2.316) будет иметь вид ...» имеются очевидные ошибки. Также очень неудобен разброс: констатация на стр. Д108, рисунок на стр. Д90, система уравнений на стр. Д92 или Д107;
- «...реактивные потоки ЭЭ...» не измеряются в кВт·ч (конец стр. Д98);
- неясно, как для РЭС «...использование балансовых уравнений в ПМ позволяет учесть ... специфику их информационного развития» (стр. Д97 абзац 2 сверху);
- графики (рис. 4.4 стр. Д180 и рис. 8 стр. А20) нагрузки и суточного плана работы потребительской генерации должны иметь общие точки при 0 и 24 ч. То же самое должно быть и для рис. 3.12 – 3.14 стр. Д163, 165.



## 7. Заключение о соответствии диссертации установленным критериям

Диссертация Мухлынина Н.Д., представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, полностью отвечает квалификационным признакам и принципам соответствия, которые установлены пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней.

- Декларируемая диссертантом цель работы – решение комплекса научных и технических проблем «...использования новой – потоковой модели установившегося режима работы сетей 6-35 кВ, адекватной их технологическому и информационному развитию...» – полностью реализована в проведенных исследованиях и отражена в полученных результатах, публикациях и апробации.
- По мнению официального оппонента, тема и содержание диссертации Мухлынина Н.Д. соответствуют паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» (далее выдержки курсивом), как исследование «... по связям и закономерностям при планировании развития, проектировании и эксплуатации ... электроэнергетических систем, электрических сетей и систем электроснабжения»:
  - по направлению исследования, посвященного «...развитию и совершенствованию теоретической и технической базы электроэнергетики с целью обеспечения экономичного и надежного производства электроэнергии, ее транспортировки...»;
  - по области исследования, в котором производится разработка методов «...анализа режимных параметров основного оборудования ...» (п. 2), «... расчета установившихся режимов ... электроэнергетических систем» (п. 7); «... использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике» (п. 13).
  - по объектам исследования, которыми являются элементы электроэнергетических систем, электрических сетей и систем электроснабжения.
- Автореферат диссертации Мухлынина Н.Д. соответствует диссертационной работе по ее существенным признакам, а именно: цели, задачам, определениям актуальности, новизны и достоверности, научной и практической значимости, основным положениям, выдвигаемым на защиту и выводам.
- Выводы в диссертационной работе Мухлынина Н.Д. вполне отвечают результатам работы. В них убедительно отражена научная и практическая цен-

ность проведенных исследований в плане оценки разработанных методик, математических моделей, принципов и алгоритмов анализа установившихся режимов и оценки состояния электрических сетей энергосистем.

- Оппонент подтверждает, что основные результаты диссертационной работы освещены в научных публикациях Мухлынина Н.Д., изданных в период 2012 – 2017 г.г. в журналах из перечня рецензируемых научных изданий ВАК РФ и индексируемых международными наукометрическими базами Scopus и Web of Science. Они с достаточной полнотой отражают существо оппонируемой работы. Апробация работы произведена диссертантом в выступлениях на международных и российских научно-технических конференциях и семинарах.
- Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в электроэнергетическую науку.
- Содержание диссертации изложено доступно, но в то же время полностью корректным с научно-технической точки зрения языком.
- Построение и редакционное оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям, установленным названными выше нормативными документами. Предложенные Мухлыниным Н.Д. решения по новой потоковой модели установившегося режима работы РЭС 6 -35 кВ аргументированы и в достаточной мере оценены по сравнению с другими известными работами. В диссертации приведены документы о внедрении и практическом использовании полученных автором научных результатов. Диссертация представляет собой законченный труд, выполненный автором лично. Разделы диссертации решают определенные задачи из сформулированного выше состава задач работы в целом, имея при этом имеют собственное значение, и их результаты могут быть использованы самостоятельно.

#### **8. Оценка внедрения результатов диссертации и рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты работы Мухлынина Н.Д. внедрены в практику создания технологии управления режимами электрических сетей:

- в компании ООО «Прософт-Системы», где внедрение алгоритма расчета режимных параметров для объектов электроэнергетики в ПТК ARISSCADA под-

тверждено соответствующим актом;

- в изолированной сети электроснабжения АО «Аметистовое», для которой выполнена оценка потерь электроэнергии в рамках выполнения договора на НИР.

Также внедрение работы произведено автором в учебном процессе УрФУ по дисциплине «Информационные технологии управления режимами ЭЭС» магистратуры по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Оппонент рекомендует использовать результаты диссертационного исследования Мухлынина Н.Д. в электроэнергетических системах в процессе решения общегосударственной проблемы создания интеллектуальных электроэнергетических систем.

По мнению оппонента, диссертанту следует продолжить научную работу на кафедре «Автоматизированные электрические системы» ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» с целью дальнейшего развития научного направления развития РЭС 6-35 кВ в области совершенствования новых методов управления проектирования эксплуатацией электрических станций и электроэнергетических систем.

## **9. Публикации и апробация диссертационной работы**

Основные научные результаты диссертации Мухлынина Н.Д. отражены в 15 отечественных и зарубежных публикациях, в том числе в 5 изданиях, индексируемых в международных реферативных базах цитирования Scopus и Web of Science и 2 опубликованы в рецензируемых научных журналах из Перечня, утвержденного Высшей аттестационной комиссией РФ.

Положения и результаты диссертации докладывались Мухлыниным Н.Д. на более 15 международных и российских конференциях.

## **10. Общее заключение**

Считаю, что диссертация Мухлынина Никиты Дмитриевича является законченной научной квалификационной работой, выполненной автором лично. Приведенные выше дискуссионные положения, по мнению оппонента, могут быть полезны при определении направлений дальнейшей научной деятельности Мухлынина Н.Д., а критические замечания не имеют принципиального характера и не снижают ценности диссертации.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

В диссертационной работе представлено решение актуальной задачи новой потоковой модели установившегося режима работы РЭС. Диссертация соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Мухлынин Никита Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

**Официальный оппонент**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Автоматизированные  
электроэнергетические системы»  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный  
технический университет»,  
443100: Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244  
т. +7 (846) 278-44-96;  
E-mail: [vgg41@yandex.ru](mailto:vgg41@yandex.ru).

Гольдштейн  
Валерий Геннадьевич  
26 апреля 2018 г.

Подпись Гольдштейна В. Г. заверяю  
Ученый секретарь СамГТУ

Малиновская Ю.А.