

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования

«Марийский государственный университет»,  
доктор физико-математических наук

А. Н. Леухин

  
(подпись)

03 сентября 2024 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Лыу Куок Кьонга по теме  
«Повышение эффективности работы электрических сетей 0,4 кВ за счёт  
симметрирования фазных нагрузок», представленную на соискание  
ученой степени кандидата технических наук по научной специальности  
2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

**Актуальность** темы исследования Лыу Куок Кьонга обусловлена значительной долей технических потерь при передаче электроэнергии в сетях 0,4 кВ Российской Федерации и Республики Вьетнам, достигающей более 50 % от общих технических потерь. Электрические сети 0,4 кВ характеризуются значительной долей 1-фазных энергопринимающих устройств коммунально-бытового назначения. Случайный с точки зрения сетевой организации характер потребления таких устройств является причиной неравномерности распределения нагрузки по фазам на шинах трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ. Это обстоятельство, наряду с достаточной протяженностью линий, является причиной дополнительных потерь в электрических сетях 0,4 кВ и снижения качества электроэнергии. Автор отмечает наличие определенного резерва снижения потерь в сетях 0,4 кВ за счет: (а) снижения сопротивлений проводников путем увеличения их сечения или уменьшения длины при увеличении числа трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ; (б) оптимизации напряжения в центрах питания 10 кВ и в сетях 0,4 кВ с помощью устройств регулирования напряжения; (в) выравнивания фазных нагрузок линий электропередачи 0,4 кВ. Автор указывает, что последнее мероприятие наиболее экономически оправдано, поскольку, в совокупности с интеллектуализацией электрических сетей, требует минимальных капиталовложений.

В рамках работы подразумевается использование результатов постоянного мониторинга режимов работы электрических сетей взамен комплекса периодических исследований. Распространение синхронизированных измерений режимов работы всех потребителей открывает новые возможности по выравниванию фазных нагрузок, что также подтверждает актуальность темы исследования.

Выравнивание нагрузки электрических сетей 0,4 кВ способствует уменьшению напряжения смещений нейтрали при обрыве нейтрального провода и, как следствие, снижению отклонений фазных напряжений потребителей, а также связанных с этим финансовых рисков энергоснабжающих организаций.

**Новизна исследования и полученных результатов** состоит:

а) в определении целесообразного способа задания исходной информации для расчетов режимов работы электрических сетей 0,4 кВ с распределенной вдоль длины ЛЭП нагрузкой в реальном времени по данным показаний интеллектуальных счетчиков электроэнергии;

б) в разработке методики расчета режимов ЛЭП при обрыве проводов, отличающаяся использованием информации о распределенных вдоль ЛЭП фазных нагрузках;

в) в разработке методики оптимального симметрирования с помощью метода «Роя частиц» по критерию минимума потерь мощности.

**Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов.** Работа, в целом, имеет прикладной характер и направлена на уменьшение величины потерь электроэнергии в электрических сетях, а также повышение безопасности жизнедеятельности населения и эксплуатационного персонала электрических сетей за счет: а) развития методов расчета режимов электрических сетей 0,4 кВ и оптимизации симметрирующих переключений с использованием интеллектуальной системы измерений параметров режима; б) разработки нового подхода к расчетам режимов четырехпроводных электрических сетей 0,4 кВ на основе использования в качестве исходной информации показаний интеллектуальных счетчиков электроэнергии, позволяющего производить корректные расчеты потерь мощности в ЛЭП и оптимизировать симметрирующие переключения; в) обоснования критерия недопустимых перенапряжений при обрыве нулевого провода.

**Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов.** Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при построении систем оптимального симметрирования нагрузок в электрических сетях 0,4 кВ, предназначенных для снижения потерь электроэнергии, а также при разработке требований к функциональности интеллектуальных систем измерений.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.** Текст автореферата и диссертации Лью Куок Кьонга позволяет сделать выводы о достоверности результатов исследования. Так, результаты анализа существующих подходов к оценке дополнительных потерь электроэнергии от несимметрии фазных нагрузок в сетях 0,4 кВ и способов уменьшения этих потерь, подтверждаются ссылками на научные публикации. Способ задания нагрузок при расчетах режимов четырехпроводных электрических сетей в реальном времени обоснован объемом и доступностью информации от интеллектуальных счетчиков электроэнергии.

Предложенная автором методика расчета напряжений в узлах воздушных линий электропередачи при обрыве нулевого и фазных проводов, а также метод расчета режимов моделируемой сети полностью основана на известных законах электротехники, в частности, методе контурных токов. Такой подход представляется оправданным для данной задачи, поскольку позволяет снизить число уравнений рассматриваемой электрической цепи. Разработанный алгоритм оптимизации симметрирующих переключений и программы REG и ROI в среде MATLAB являются практической реализацией предложенных методик. Достоверность результатов расчета с использованием данных алгоритмов подтверждается их совпадением с результатами расчета другими соответствующими методами, а также воспроизводимостью результатов при многократных повторениях. Применение метода роя частиц для поиска минимума целевой функции потерь обосновано с точки зрения снижения количества вычислительных операций и памяти ЭВМ, поскольку полный перебор всех комбинаций присоединения 1-фазных потребителей к электрической сети не всегда может быть практически реализован.

**Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом.** Диссертация имеет традиционную **структуру**, которая отражает логику проведенного автором исследования: введение, четыре главы, заключение, список литературы, приложения. Основное содержание работы изложено на 113 страницах. Диссертация содержит 4 приложения, текст иллюстрирован 15 таблицами и 45 рисунками. Библиографический список включает 92 наименования цитируемой литературы.

**Во введении** убедительно аргументирована актуальность исследования, обоснована степень разработанности темы в науке, в соответствии с объектом и предметом

исследования сформулированы цель, задачи и гипотеза, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

**В первой главе** рассматриваются существующие методы расчета дополнительных потерь мощности от неравномерности распределения 1-фазных нагрузок по фазам электрической сети 0,4 кВ. Приведена классификация существующих методов снижения дополнительных потерь мощности и электроэнергии от неравномерности нагрузок, выполнен анализ каждого метода снижения потерь. Отмечается, что существующие методы расчета дополнительных потерь электроэнергии от несимметрии фазных нагрузок из-за недостаточной наблюдаемости электрических сетей носят лишь оценочный характер. Устройства автоматического выравнивания нагрузки 0,4 кВ в настоящее время не имеют широкого применения в основном по экономическим причинам. Выравнивание нагрузок осуществляется практически всегда вручную на основе периодических замеров, что не всегда соответствует ожидаемому эффекту снижения потерь в электрической сети.

В связи с этим автор обоснованно утверждает, что снижение дополнительных потерь электрической энергии в электрических сетях 0,4 кВ за счет выравнивания нагрузок возможно только при наличии определенной исходной информации о режиме работы сети от интеллектуальных приборов учета. Наличие этих данных позволяет разработать оптимальный алгоритм выравнивания фазных нагрузок и определить возможные отклонения напряжения при обрыве нулевого провода в любой точке линии.

**Вторая глава** посвящена обоснованию состава исходной информации для расчета режимов несимметричных электрических сетей 0,4 кВ. Автор сообщает, что практически применяемые методы расчета режимов 4-проводных электрических сетей характеризуются рядом допущений, принятым из-за недостатка исходной информации, что приводит к методическим погрешностям.

Для устранения данного недостатка предложено использовать показания интеллектуальных счетчиков с возможностью мониторинга параметров в реальном времени. Это позволяет рассчитывать фактические комплексные сопротивления каждого потребителя, усредненные на определенных интервалах времени (например, 10 мин), не используя приближенные методы, и строить суточные графики изменения этих сопротивлений.

**В третьей главе** рассматриваются последствия обрыва нулевого или фазного провода в сети 0,4 кВ. Автором предложена методика расчета напряжений в узлах неразветвленной 3-фазной электрической сети 0,4 кВ при обрыве нулевого проводника. Предложенная методика основан на использовании метода контурных токов и предполагает расчеты в комплексной форме. Исходной информацией являются комплексные сопротивления всех элементов сети, включая сопротивления линии, трансформатора, потребителей в каждой фазе, ЭДС и эквивалентные сопротивления источника. В соответствии с методом контурных токов составляется система из пяти линейных уравнений. Решение системы позволяет найти контурные токи, а затем — токи в ветвях и искомые напряжения в узлах схемы. Предложенная методика реализован в разработанной автором программе «OBRW» в среде MATLAB.

Анализируя результаты расчета напряжений при обрыве нулевого проводника на одном из участков электрической цепи при несимметричной нагрузке, автор обнаружил связь коэффициента несимметрии сопротивлений фазных нагрузок  $K_{нс}$  с величинами отклонений напряжений у потребителя. Лыу Куок Кьонг сделал вывод, что именно коэффициент несимметрии сопротивлений определяет  $K_{нс}$  величину перенапряжений.

В работе рассмотрен также случай обрыва фазных проводников в электрической сети 0,4 кВ. Сформулирован обоснованный вывод о том, что, несмотря на отсутствие опасных перенапряжений, на отсоединенном конце фазного проводника остается напряжение, опасное для жизни людей.

Полученные результаты использованы при разработке алгоритма программы определения недопустимых перенапряжений при обрыве нулевого провода. Алгоритм

предполагает периодический расчет потенциально возможных величин перенапряжений при обрыве нулевого или фазного провода и сравнение этих величин с допустимыми значениями.

**Четвертая глава** посвящена разработке методики, алгоритма и программ для оптимизации симметрирующих переключений. Приведенные в данной главе результаты исследований направлены на вычисление оптимального способа подключения 1-фазных потребителей к 3-фазной электрической сети 0,4 кВ. Расчеты выполнены методом контурных токов на примере радиальной неразветвленной 3-фазной сети низкого напряжения, включающей 15 опор присоединения нагрузки, заданной комплексными сопротивлениями. Для расчета цепи автором разработана компьютерная программа «REG» для среды MATLAB, код которой приведен в приложении.

С целью выбора оптимального способа подключения 1-фазных потребителей к 3-фазной электрической сети 0,4 кВ по критерию минимума совокупных потерь в линии предложена методика оптимизации симметрирующих переключений на основе алгоритма селективной вероятностной оптимизации роя дискретных частиц «SPD-PSO». Алгоритм предполагает итерационное уточнение выбора фаз для 1-фазных потребителей и реализован в виде разработанной автором компьютерной программы «ROI» для среды MATLAB. На примере схемы замещения электрической сети показано, что после 500 итераций суммарные потери снизились на 22,6 %.

Логическим завершением главы является разработанный автором алгоритм оптимизации симметрирующих переключений и компьютерная программа для среды MATLAB. Программа предназначена для оценки целесообразности симметрирования и определения порядка необходимых переключений фазных нагрузок с указанием точек присоединения (опор ЛЭП).

**В заключении** обобщены результаты исследования и сформулированы основные выводы, из которых наиболее важными, на наш взгляд, являются следующие:

а) недостаточная наблюдаемость сельских и пригородных электрических сетей не позволяет достоверно определять потери в линиях электропередачи низкого напряжения и принимать эффективные меры для их снижения. В связи с этим мониторинг режима сетей низкого напряжения является основным условием разработки способов снижения потерь в них. Одним из способов организации такого мониторинга является внедрение интеллектуальных счетчиков электроэнергии;

б) предложено представление нагрузок суточными графиками изменения комплексных сопротивлений всех распределенных вдоль ЛЭП потребителей для решения задачи определения целесообразности и оптимизации симметрирования;

в) предложена методика расчета напряжений в критических точках при обрыве нулевого провода для линий с распределенной вдоль ее длины нагрузкой. Методика основана на эквивалентировании схемы сети относительно точки обрыва нулевого провода и последующего решения, в зависимости от места обрыва;

г) разработаны алгоритм и программа по оценке возможных перенапряжений в несимметричной сети при обрыве нулевого провода, предназначенная для обоснования производства симметрирующих переключений;

д) разработана в среде Matlab и зарегистрирована программа REG для расчета параметров симметричных и несимметричных режимов ЛЭП 0,4 кВ с распределенной вдоль линии нагрузкой;

е) разработана методика оптимального симметрирования фазных нагрузок на основании метода роя частиц по критерию минимума потерь мощности, позволяющая обеспечить снижение потерь мощности за счет оптимального симметрирования на 8–30 % в зависимости от режима;

ж) разработан алгоритм оптимизации симметрирующих переключений для ручных, или автоматических переключателей фаз по критерию минимума потерь электроэнергии.

Полученные результаты определяют состоятельность выводов проведенного исследования.

**Личный вклад** автора работы состоит в постановке научно-исследовательской задачи, определения подхода к определению режимов сетей на основе показаний интеллектуальных счетчиков электроэнергии, разработке методики оптимизации симметрирования на основе метода роя частиц, а также в разработке алгоритмов и программ в средах Microsoft Excel и MATLAB. Им сформулированы основные выводы по работе. Вклад автора в каждую из опубликованных в соавторстве работ составляет не менее 50 %.

Содержание **автореферата** в достаточной мере раскрывает основные положения диссертации, согласуется с ним. Результаты исследования и положения, выносимые на защиту, прошли апробацию на научных мероприятиях различного уровня, отражены в 7 публикациях автора, среди которых 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК; 3 публикации в материалах докладов международных и всероссийских научных конференциях; 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В целом положительно оценивая диссертационное исследование Лыу Куок Кыонга, необходимо указать на ряд **замечаний**, требующих разъяснений автора:

1. На с. 62 указано, что в реальных сетях степень несимметрии в течение суток постоянно меняется и именно коэффициент несимметрии определяет величину перенапряжений при обрыве нулевого провода. Данное утверждение автора требует пояснений, так как коэффициент несимметрии сопротивлений (формула приведена в главе 3) или коэффициент неравномерности токов (по формуле 2.11) однозначно определяется по величине этих сопротивлений или токов. Однако сами коэффициенты не однозначно определяют величины сопротивлений, токов, и, как следствие, напряжений в узлах.

2. При описании алгоритма работы программы определения недопустимых перенапряжений при обрыве нулевого провода в главе 3 нет описания предполагаемого сценария использования его результатов работы, что требует соответствующих пояснений.

3. Предложенные автором методика оптимизации симметрирующих переключений, а также алгоритм и компьютерная программа, реализующие методику, предполагают наличие автоматических переключающих устройств. Однако в работе указывается, что автоматическое симметрирование сетей 0,4 кВ в настоящее время не находит широкого применения по ряду причин. В связи с этим требуются разъяснения автора о способах выполнения переключений.

4. В работе описан разработанный автором алгоритм «SPD-PSO» на основе метода роя частиц для определения минимума целевой функции потерь электроэнергии в линии. Однако в работе не приведены причины выбора данного алгоритма. Всегда ли алгоритм позволяет определить глобальный экстремум целевой функции? Чем определяется критерий завершения алгоритма? Эти вопросы нуждаются в пояснениях автора.

Обозначенные вопросы и замечания имеют уточняющий характер и не снижают общего положительного впечатления о проделанной Лыу Куок Кыонгом работе.

**Заключительная оценка.** В целом подтверждаем, что диссертационное исследование Лыу Куок Кыонга является самостоятельным, завершенным исследованием. Соискателем достигнута поставленная цель. Значимые новые научные результаты получены лично диссертантом. Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертации.

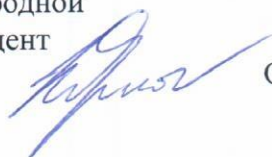
Диссертация Лыу Куок Кыонга по теме «Повышение эффективности работы электрических сетей 0,4 кВ за счёт симметрирования фазных нагрузок», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, соответствует требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением

Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Лыу Куок Кьонг заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Отзыв подготовлен кандидатом технических наук, заведующим кафедрой электромеханики электроэнергетического факультета института цифровых технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Марийский государственный университет» Орловым Александром Игоревичем.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры электромеханики электроэнергетического факультета института цифровых технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Марийский государственный университет», протокол № 1 от 02 сентября 2024 года.

Заведующий кафедрой электромеханики  
электроэнергетического факультета  
института цифровых технологий  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Марийский государственный университет»,  
05.11.13 Приборы и методы контроля природной  
среды, веществ, материалов и изделий, доцент



Орлов Александр Игоревич

Лица, подписавшие документ, выражают согласие на обработку персональных данных.

С публикациями сотрудников ведущей организации можно ознакомиться на сайте <http://elibrary.ru>.

**Сведения о ведущей организации:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Марийский государственный университет»

Почтовый адрес: 424000, Республика Марий Эл г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1

Телефон: +7 (8362) 68-80-02

E-mail: [rector@marsu.ru](mailto:rector@marsu.ru)

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://marsu.ru/>