

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента, доктора технических наук, доцента Виноградова Александра Владимировича на диссертационную работу Грищенко Дмитрия Николаевича «Алгоритмы изменения топологии сельских электрических сетей 6–10 кВ, снижающей технологические потери электроэнергии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса

### **Структура и объем работы**

Диссертационная работа изложена на 130 страницах и состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложения. Она включает в себя 32 рисунка, 14 таблиц. Список литературы содержит 121 источник.

#### **1. Актуальность темы диссертационной работы**

Потери электроэнергии в сельских электрических сетях 6-10 кВ составляют, в среднем, 8-12% от передаваемого объема электроэнергии. В структуре технологических потерь электроэнергии в сельских электрических сетях 0,4-110 кВ они достигают 20-25%. Все потери в конечном итоге вкладываются в тариф на электроэнергию. Поэтому одной из стратегических задач развития распределительных электрических сетей, а также способом сдерживания роста тарифов на электроэнергию для сельских потребителей является снижение потерь электрической энергии в сетях 6-10 кВ.

Значения потерь электроэнергии зависят от протяженности линий электропередачи (ЛЭП), применяемых сечений и марок проводов, значений и характера нагрузки, её коэффициента мощности, состояния оборудования сетей. Поэтому очевидными мероприятиями для снижения потерь в ЛЭП 6-10 кВ являются разукрупнение сетей с уменьшением длины ЛЭП, реконструкция с заменой проводов, компенсация реактивной мощности. Как правило, это достаточно затратные мероприятия. Так, реконструкция ЛЭП обходится в 4-6 млн. руб./км линии.

Топология сетей 6-10 кВ многообразна, но чаще всего сети строятся по магистральному принципу с возможностью питания от двух источников. Развитие сети приводит к усложнению топологии и появляются более сложные варианты, когда имеется возможность переключения питания потребителей от разных источников электроснабжения, в роли которых выступают подстанции (ПС) 35-110 кВ. При этом далеко не всегда «маршрут» доставки электроэнергии к потребителям является оптимальным, поскольку в нём могут быть задействованы ЛЭП с большей протяженностью, чем имеется объективная возможность согласно схемы. Причины этого кроются в отсутствии системного подхода к управлению конфигурацией и топологией сети. Это, в свою очередь, приводит к повышенным потерям электроэнергии, в том числе в ЛЭП 6-10 кВ.

Рациональное управление топологией сетей 6-10 кВ позволяет улучшить режимы работы сети, повысить качество электроэнергии, поставляемой потребителям и снизить потери электроэнергии. Существующие алгоритмы управления топологией несовершенны и не всегда обеспечивают оптимизацию режима работы сети и сокращение потерь электроэнергии, поскольку часто упускают этот фактор, ориентируясь в большей степени на обеспечение надёжности электроснабжения. Поэтому диссертационная работа Грищенко Дмитрия Николаевича «Алгоритмы изменения топологии сельских электрических сетей 6–10 кВ, снижающей технологические потери электроэнергии» является актуальной.

## **2. Соответствие содержания диссертации цели и объектам исследования, поставленным цели и задачам, принятой программе исследования**

В диссертационной работе Грищенко Д.Н. найден один из вариантов решения научной задачи сокращения потерь электроэнергии посредством обоснования рациональных алгоритмов изменения топологии сетей 6-10 кВ, что увязано с целью работы.

Задачи исследования, приведенные в работе, отвечают поставленной цели и содержанию диссертации. Содержание глав и разделов диссертации логически вытекает из поставленных цели и задач, соответствует принятой программе исследования, объекту (электрические сети 6-10 кВ) и предмету (алгоритмы изменения топологии путем определения мест размыкания сельских электрических сетей 6–10 кВ для снижения технологических потерь электроэнергии) исследования.

## **3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Обстоятельно изучены и критически проанализированы исследования других ученых, о чем свидетельствует список использованной литературы из 121 наименования. Методы исследования базируются на основных положениях теории вероятности, системного анализа, методах эвристического моделирования и программирования, специальных методах оптимизации на графах, а также современных алгоритмах оптимизационного поиска. Компьютерное моделирование электрической сети выполнено с использованием специализированных пакетных расширений для работы с графами на языке программирования Python.

Внедрение в практику результатов исследований на АО «Россети Кубань» Усть-Лабинские электрические сети убеждают в высокой степени обоснованности научных рекомендаций автора.

Научные положения, сформулированные в диссертации, обоснованы результатами выполненных исследований. Результаты представлены в выводах по отдельным главам и работе в целом. Выводы и сделанные рекомендации обоснованы и соответствуют поставленной цели и задачам, идее работы, при этом не противоречат результатам, опубликованных другими авторами по данной тематике.

#### **4. Новизна и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Научная новизна заключается в: сформулированной целевой функции задачи оптимизации схемы сельской распределительной сети 6–10 кВ по критерию минимума технологических потерь электроэнергии; модернизированном алгоритме обратного удаления, имеющем сниженную асимптотическую сложность; предложенном комбинированном алгоритме, позволяющем определять места размыкания в схеме распределительной сети 6–10 кВ для снижения величины технологических потерь электрической энергии; разработанном алгоритме определения вариантов топологии сельской распределительной сети 6–10 кВ. Заявленная новизна подтверждается результатами исследования, их сопоставлением с результатами других авторов.

Достоверность, новизна и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в диссертационной работе Грищенко Д.Н., подтверждаются формулировкой задач исследования, сделанной исходя из всестороннего анализа нормативных документов и литературных источников, использованием традиционных методических принципов современной науки и известных методов анализа и синтеза, непротиворечивостью математических выкладок и преобразований.

#### **5. Значимость для науки и практики результатов диссертации и возможные пути её применения**

Значение диссертационной работы для науки и практики заключается в: предложенной целевой функции, позволяющей оптимизировать схему сельской распределительной сети 6–10 кВ по критерию величины технологических потерь электроэнергии; в разработанном комбинированном алгоритме, который позволяет снизить технологические потери электроэнергии в сельской распределительной сети 6–10 кВ, за счет изменения ее топологии; в алгоритме определения вариантов топологии распределительной сети 6–10 кВ, которые могут быть использованы при ее изменении в процессе эксплуатации.

Полученные в результате исследования алгоритмы могут быть использованы для решения оптимизационных задач, возникающих при

проектировании новых сельскохозяйственных распределительных сетей 6–10 кВ и реконструкции существующих.

Результаты исследований подтверждаются внедрением в АО ОПХ «Центральное» (г. Краснодар), а также в филиале АО «Россети Кубань» (г. Усть-Лабинск).

## **6. Полнота опубликования основных результатов диссертации в научных изданиях**

По результатам исследований опубликовано 12 научных работ, 2 из которых опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК, 2 работы опубликованы в издании, индексируемом в наукометрической базой Scopus, Основные положения и выводы диссертации обсуждались на различных конференциях, в том числе международных.

## **7. Оценка содержания диссертационной работы, степень её завершенности и качество оформления**

Диссертационная работа Грищенко Д.Н. содержит теоретические и практические результаты, которые позволяют квалифицировать её как завершенную, самостоятельно выполненную научную работу. Оформление работы соответствует Положению о порядке присуждения ученых степеней.

**Во введении** обоснована актуальность работы, приводятся цели, задачи и предмет исследования, новизна научных результатов, практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** дано описание самых распространенных мероприятий по снижению потерь электрической энергии в электрической сети. Показано, что в большинстве случаев для снижения величины потерь в распределительных сетях 6–10 кВ используются капиталоемкие мероприятия. В связи с этим проведен поиск мероприятий по снижению потерь электроэнергии, обладающих меньшей капиталоемкостью. Определено, что наименьшей капиталоемкостью обладают мероприятия, связанные с улучшением режимов электрических сетей, в частности изменение топологии электрической сети. Для этого реализации вышеописанных мероприятий используются алгоритмы для решения многокритериальных условных задач оптимизации и другие алгоритмы на графах. Известно, что с увеличением объема входных данных возможность нахождения экстремума целевой функции при решении задачи оптимизации существенно снижается. Автор отмечает, что комбинированное использование алгоритмов на графах и методов численной оптимизации позволит существенно повысить вероятность определения эффективной топологии распределительной сети с

одновременным сокращением времени решения задачи. И, кроме того, автор предлагает использовать промежуточные топологии распределительной сети, получаемые в процессе решения задачи оптимизации, которые в дальнейшем могут быть использованы при ее изменении в процессе эксплуатации. Поэтому существует необходимость в создании алгоритмов изменения топологии сельских электрических сетей 6–10 кВ, что позволит снижать величину технологических потерь электроэнергии, для повышения рентабельность предприятий АПК. Сформулирована цель и задачи исследования.

**Во второй главе** проводится разработка алгоритмов изменения топологии сельских электрических сетей 6–10 кВ. Автором сформулирована целевая функция задачи оптимизации с ограничениями по критерию минимума технологических потерь электроэнергии. После чего были предложены следующие модернизации алгоритма обратного удаления: предварительный расчёт количества ветвей необходимых для исключения из сети; исключение из отсортированного списка 25 % ветвей от общего количества, имеющих наибольшие значения токов; использование механизма рулетки при выборе очередной ветви для исключения из схемы. Было установлено, что результаты комбинированной работы модернизированного алгоритма обратного удаления и алгоритма роя частиц (англ. PSO) соотносятся с результатами комбинированной работы модернизированного алгоритма обратного удаления и алгоритма пчелиной колонии (англ. ABC). В дальнейшем автор отдает предпочтение комбинации с алгоритмом PSO. На основе метрики, предложенной Левенштейном, которая получила наименование «расстояние Левенштейна», был разработан алгоритм определения вариантов топологии распределительной сети. Автор в своей работе предлагает использовать в качестве аналога «расстояния Левенштейна» количество оперативных переключений необходимых для преобразования одной топологии в другую. Таким образом, реализуя механизм использования промежуточных топологий распределительной сети, незначительно отличающихся от топологии, имеющей минимальные технологические потери. Полученные топологии могут быть использованы в процессе эксплуатации электрической сети. Следует отметить высокие аналитические способности автора и уровень абстракции, позволяющий адаптировать методы и способы решения задач из смежных областей науки для решения поставленной задачи.

**В третьей главе** представлены результаты экспериментальных исследований разработанных алгоритмов. Экспериментальные исследования проводились в несколько этапов. На первом этапе с помощью специализированного прибора «Определитель ампер-квадрат-часов» (АкЧ-В-1(м)–5А АС) определялась точность расчетов технологических потерь электрической энергии. По результату было установлено, что точность расчетов составила 94,1 %, что дает основание к дальнейшему использованию разработанных алгоритмов. На втором этапе проводились испытания разработанных алгоритмов в АО «Россети Кубань» Усть-Лабинские электрические сети. Они позволили установить, что полученная эффективная

топология имеет более низкие значения технологических потерь электроэнергии, чем эксплуатируемая предприятием фактическая топология более чем на 7,5 %. Одновременно с этим автором было показано, что полученная эффективная топология также имеет более низкие значения технологических потерь электроэнергии, чем топология рекомендуемая ПО «РЭТП 6–10» эксплуатируемым персоналом предприятия. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили сделанные ранее теоретические выводы об эффективности использования разработанных алгоритмов изменения топологии электрической сети.

**В четвертой главе** представлено экономическое обоснование использования ранее полученных эффективных топологий сельской электрической сети. Оценка производилась с использованием методики, основанной на расчете эксплуатационных издержек, а для расчета величины технологических потерь электрической энергии была использована методика, утвержденная Правительством и приказом Минэнерго РФ. Для изменения топологии распределительной сети Усть-Лабинского района на эффективную, помимо оперативных переключений, дополнительно необходимо приобрести и установить РЛНД-10. Экономическая эффективность составит более 253 тыс. руб. в год. Дополнительно эффективность использования разработанных алгоритмов подтверждается имеющимся актом внедрения.

**В заключении** приведены основные выводы по проведенному исследованию, даны рекомендации производству и раскрыты перспективы дальнейших исследований по данной теме.

В главах приведены результаты исследований, подтверждающие положения, выносимые на защиту и выводы диссертации. Выводы достоверны, соответствуют поставленным задачам исследования, отражают полученные результаты. Диссертация написана в классическом стиле, оформлена в соответствии с существующими требованиями, предъявляемыми к работам подобного типа.

## **8. Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации**

Содержание автореферата в достаточной мере отражает основные положения, идеи и выводы диссертационной работы. Материалы автореферата дают достаточно полное представление о научных результатах, полученных в ходе исследования.

## **9. Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы**

Личный вклад соискателя Грищенко Д.Н. в решение научной задачи состоит в постановке целей и задач исследования, теоретической и практической разработке и обосновании основных идей и положений

диссертационной работы, подготовке публикаций и диссертации. Основная часть публикаций написана в соавторстве, в которых каждому из авторов принадлежит пропорционально распределенная доля. Личное участие автора подтверждено опубликованными работами, апробациями на научных конференциях.

**10. Отсутствие в диссертации использования заимствованного материала без ссылок на автора и источник заимствования, результатов научных работ, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок соавторов**

В диссертации заимствованного материала без ссылок на автора и источник заимствования, результатов научных работ, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок соавторов, по мнению оппонента, не содержится.

**11. Соответствие диссертации и автореферата требованиям Положения о присуждении ученых степеней**

Диссертационная работа и автореферат Грищенко Д.Н. соответствуют требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» № 842 от 24 сентября 2013 года с учётом их актуализации.

**12. Замечания по диссертационной работе**

1. На рисунке 2.6 (стр. 56 диссертации) приведена схема типовой сельской электрической сети 10 кВ. Не ясно, как получены параметры сети. В работе не приводятся соответствующие статистические исследования. Кроме того, в описании алгоритмов, показанных на рисунках 2.7 и 2.8 говорится, что они позволяют получать топологии типовой сети, отличающиеся от эффективной на 3,9 – 15,5 % и которые могут быть использованы при её изменении в процессе эксплуатации. Однако процесс расчётов не проиллюстрирован и схемные решения по изменениям топологии не приведены, что затрудняет оценку результата. Далее в работе указанная схема не рассматривается, расчёты проиллюстрированы для других схем.

2. В пункте 4.1 (страница 99 диссертации) утверждается, что «распределительные сети, предназначенные для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, как правило, не оборудованы телемеханизированными высоковольтными коммутационными аппаратами, такими, например, как реклоузер». На основании этого принято, что «эффективная топология сети рассчитывается для сезонных максимумов нагрузок». Графики нагрузок принимаются неизменными. В то же время, только по филиалам ПАО «Россети Центр» в последние годы установлено более 1,5 тыс. моторизованных разъединителей с индикаторами коротких

замыканий и более 3,8 тыс. реклоузеров. То есть имеются возможности управления топологией. Не ясно, как применение подобного оборудования повлияет на расчёты экономической эффективности? Как повлияет изменение графиков нагрузки потребителей?

3. В предложенном соискателем модернизированном алгоритме обратного удаления на одном из шагов производится исключение 25 % ветвей, имеющих наибольшую величину протекающего по ним тока. Не ясно, почему именно 25%? Обоснование этого не приведено.

4. При возникновении аварийных ситуаций происходит изменение топологии сети за счёт переключений. В работе не рассматриваются вопросы возврата к исходной эффективной топологии после устранения повреждений. Это потребует дополнительных переключений с возможным отключением питания потребителей, что, в свою очередь, приведёт к недоотпуску им электроэнергии. Рационально было бы рассмотреть эти вопросы и дать рекомендации по переключениям на примере рассмотренных схем, или учесть минимизацию недоотпуска как дополнительное ограничение.

5. Не рассмотрены вопросы мониторинга режимов работы сети, для которой рассчитана эффективная топология. Это важно для своевременного принятия решений по пересмотру эффективной топологии при изменении параметров схемы, то есть при появлении новых узлов, ветвей, или нагрузки в процессе эксплуатации.

6. Во второй главе диссертационного исследования не уделено внимание влиянию весовых коэффициентов и параметров алгоритма роя частиц (англ. PSO) на сходимость и время определения эффективной топологии.

### **Заключение**

Учитывая объем выполненных исследований, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, считаю, что представленная диссертационная работа Грищенко Дмитрия Николаевича «Алгоритмы изменения топологии сельских электрических сетей 6–10 кВ, снижающей технологические потери электроэнергии» является законченной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи сокращения потерь электроэнергии в сельских электрических сетях 6-10 кВ посредством оптимизации управления топологией сети, имеющей существенное значение для развития страны. Результаты работы позволяют осуществлять сдерживающее воздействие на рост тарифов на электроэнергию. Работа соответствует паспорту специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса. Работа вносит вклад в теорию и практику методов сокращения потерь электроэнергии и управления топологией электрических сетей. Поставленные вопросы и замечания не снижают ценности проведенных исследований.

Диссертация соответствует требованиям к научно-квалификационной работе, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, в соответствии с п. 9-11,13 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» а её автор, Грищенко Дмитрий Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, доцент  
профессор кафедры электроснабжения  
и теплоэнергетики имени академика  
И.А. Будзко ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА  
имени К.А. Тимирязева  
*23.03.2026*

Виноградов А.В.

подпись

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева).

Почтовый адрес: Россия, 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49.

Телефоны: +7(499)976-0480; +7(499)976-2050.

e-mail: info@rgau-msha.ru

Подпись, ученую степень и ученое звание  
Виноградова Александра Владимировича  
удостоверяю:



*С отзывом официального оппонента  
ознакомлен 30.03.2026 Д.Н. Грищенко Д.Н.*

Председателю  
диссертационного совета  
35.2.019.03 на базе  
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ  
Проф. Оськину С.В.

Сведения об официальном оппоненте  
по диссертационной работе Грищенко Дмитрия Николаевича на тему:  
«Алгоритмы изменения топологии сельских электрических сетей  
6–10 кВ, снижающей технологические потери электроэнергии»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по  
специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и  
энергоснабжение агропромышленного комплекса.

Фамилия, Имя, Отчество	Виноградов Александр Владимирович
Учёная степень	Доктор технических наук, 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве
Наименование диссертации	Разработка принципов управления конфигурацией сельских электрических сетей и технических средств их реализации
Учёное звание	Доцент
Полное наименование организации в соответствии с уставом на момент представления отзыва	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)
Наименование подразделения	Кафедра электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И.А. Будзко
Должность	Профессор
Адрес организации места работы	Россия, 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49
Телефон и официальный сайт организации места работы	Телефоны: +7 (499) 976-10-53; +7 (499) 976-18-78. <a href="https://www.timacad.ru">https://www.timacad.ru</a>

Основные публикации официального оппонента, затрагивающие сферу диссертационного исследования соискателя
1. Виноградов А.В., Моренко К.С. Структура системы сбора, хранения и обработки данных для управления конфигурацией электрической сети // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2025. Т.72. №3. С. 38-45. DOI: 10.22314/2658-4859-2025-72-3-38-45. EDN: JJMVPC.
2. Виноградов А.В. Определение рациональных мест размещения мультиконтактных коммутационных систем / А.В. Виноградов, А.Ю. Сейфуллин, А.В. Букреев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – Т. 18. № 3. – С. 82–90.
3. Лансберг А.А. Анализ конфигурации сельских электрических сетей 10 кВ / А.А. Лансберг, А.В. Виноградов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71. № 3 (56). – С. 35–43.
4. Перинский Т.В. Особенности выбора места установки пунктов регулирования напряжения 10(6) киловольт в сельских электрических сетях / Т.В. Перинский, А.В. Виноградов, И.О. Голиков // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71. № 4 (57). – С. 31–38.
5. Виноградов А.В. Управление конфигурацией как концепция развития сельских электрических сетей 0,4 кВ / А.В. Виноградов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71. № 4 (57). – С. 65–72.
6. Виноградов А.В. Сокращение потерь электроэнергии трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ заменой одного трансформатора на два и применением ФЭУ / А.В. Виноградов, А.В. Виноградова, А.А. Лансберг, Д.В. Конкин // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 11 (317). – С. 40–44.
7. Виноградов, А. В. Принципы управления конфигурацией сельских электрических сетей и технические средства их реализации / А. В. Виноградов. – Орел: Общество с ограниченной ответственностью полиграфическая фирма «Картуш», 2022. – 392 с. – ISBN 978-5-9708-0861-0. – EDN DOFZZD
8. Большев В.Е. Обзор методов сокращения потерь электроэнергии в электрических сетях, содержащих возобновляемые источники энергии / В.Е. Большев, А.В. Виноградов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2023. – Т. 70. № 2 (51). – С. 57–67.
9. Большев В.Е. Алгоритм работы устройства деления электрической сети / В.Е. Большев, А.В. Виноградова, А.В. Виноградов, А.В. Букреев, Н.С. Сорокин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69. № 3 (48). – С. 36–42.
10. Виноградов А.В. Принципы управления конфигурацией электрической сети и задачи по их реализации / А.В. Виноградов, А.В. Виноградова, А.Ю. Сейфуллин, А.В. Букреев, В.Е. Большев // Известия высших

учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. № 3. – С. 34–46.

11. Сейфуллин А.Ю. Задачи и стратегия управления конфигурацией сельской микросети, содержащей возобновляемые источники энергии / А.Ю. Сейфуллин, А.В. Виноградов, А.В. Виноградова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. № 3 (63). – С. 90–97.

12. Виноградов А.В. Расчёт модели эффективности систем электроснабжения сельских потребителей с применением программного продукта «GRIDSUPPLY ENERGY» / А.В. Виноградов, И.О. Голиков // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 2 (117). – С. 41–50.

13. Виноградов А.В. Анализ концепций построения систем электроснабжения сельских потребителей, содержащих несколько источников электрической энергии / А.В. Виноградов, А.Ю. Сейфуллин // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 2 (105). – С. 32–44.

Доктор технических наук  
по специальности 05.20.02, доцент,  
профессор кафедры электроснабжения  
и теплоэнергетики имени  
академика И.А. Будзко  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

«03» 02 2025 г.

Виноградов А.В.



## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук, доцента **Исуповой Александры Михайловны** на диссертационную работу **Грищенко Дмитрия Николаевича** «Алгоритмы изменения топологии сельских электрических сетей 6-10 кВ, снижающей технологические потери электроэнергии», представленную к защите в диссертационном совете 35.2.019.03 при ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.2 – Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса

### **1 Актуальность темы диссертационной работы**

В системе сельского электроснабжения нашей страны задействованы три уровня напряжений – 35-110 кВ, 6-10 кВ и 0,38 кВ. По оценкам различных специалистов на сегодняшний день совокупная протяженность сельских электрических сетей составляет более 2 млн. км, при этом протяженность сетей напряжением 6-10 кВ составляет более 1 млн. км, то есть около половины, что говорит об их важном значении в общей системе передачи и распределения электроэнергии по сельским территориям.

Традиционно сельские распределительные сети напряжением 6-10 кВ выполняются воздушными линиями, из-за значительной рассредоточенности сельских потребителей являются разветвленными и имеют весьма протяженные участки (в некоторых регионах встречаются участки протяженностью 50-70 км), функционируют такие сети, как правило, в нормально разомкнутом режиме. Особенности схемно-конструктивных решений, длительный период эксплуатации без проведения соответствующих мероприятий по модернизации и реконструкции сельских электрических сетей, нехватка обслуживающего персонала, стали причиной низкой надежности таких сетей, достаточно часто причиной невозможности обеспечить требуемые отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии сельским потребителям, привели к значительным потерям электрической энергии при ее передаче по сетям данного класса напряжений.

Одним из современных способов решения, обозначенных выше проблем, является переход к управляемым электрическим сетям, способным изменять свою конфигурацию с учетом существующего режима для обеспечения качественного, надежного и экономичного электроснабжения сельских потребителей. В связи с этим, исследования, направленные на разработку алгоритмов изменения топологии сельских электрических сетей 6-10 кВ для снижения потерь электрической энергии в них, являются актуальными.

### **2 Общая характеристика работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 121 источник, в том числе 9 источников на

иностранным языке и приложений, содержащих документы о внедрении результатов исследований. Общий объем работы 130 страниц.

По результатам проведенных исследований опубликовано 12 работ, из них 2 статьи опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 2 работы – в издании, индексируемом наукометрической базой Scopus.

Апробация результатов исследования проводилась на Всероссийских и Международных конференциях в период с 2019 по 2024 годы.

Автореферат отражает основное содержание и структуру диссертации.

**Во введении** обоснованы актуальность темы, степень ее разработанности, сформулированы проблема исследования и научная гипотеза, определены цель, задачи, объект, предмет и методы исследования, отмечены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, реализация и апробация результатов исследования, представлены положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен анализ величин и характера потерь электроэнергии в распределительных сетях 6–10 кВ и оценено их влияние на рентабельность предприятия АПК, перечислены мероприятия, направленные на снижение потерь, а также проанализированы недостатки существующих алгоритмов и методов изменения топологии распределительных сетей, обозначена проблема исследования, сформулированы научная гипотеза, цель и задачи исследования.

**Во второй главе** в соответствии с поставленными задачами сформулирована целевая функция, представляющая собой средние потери активной мощности на всех участках схемы распределительной сети 6-10 кВ, указаны ограничения при выборе оптимального варианта топологии сети 6-10 кВ – отклонения напряжения у конечного потребителя в сети не более 10% и обязательное наличие связи между источником энергии и потребителем с учетом категоричности последнего. В качестве допущения принято отсутствие силовых трансформаторов, имеющих разные группы соединения обмоток и одинаковый уровень напряжения на шинах понизительных станций для всех источников питания.

При решении оптимизационной задачи электрическая сеть рассматривается как связный граф, а значения протекающего по ветвям тока, как веса ребер. Для определения на участках схемы распределительной сети протекающего тока, являющегося одним из параметров целевой функции, предложено использовать метод узловых потенциалов.

Для поиска оптимального остовного дерева, с целью снижения асимптотической сложности, предложено модернизировать классический алгоритм обратного удаления ветвей. Модернизация заключается в предварительном расчете количества ветвей, необходимых для исключения из сети; исключении из отсортированного списка 25% от общего количества ветвей с наибольшими значениями токов; использовании механизма рулетки при выборе очередной ветви для исключения из схемы. Приводятся блок-схемы исходного и модернизированного алгоритмов, описана их работа, проведена оценка

асимптотической сложности модернизированного алгоритма по сравнению с классическим.

С помощью алгоритма роя частиц предлагается осуществлять поиск возможных конфигураций электрической сети, имеющих близкие значения целевой функции. Приводятся блок-схемы алгоритма роя частиц и комбинированного алгоритма. Результатом работы комбинированного алгоритма является некоторая совокупность возможных вариантов топологии распределительной сети. Выбор наилучшего варианта из найденного множества предложено производить на основе следующих критериев: потерь напряжения в сети, которые не должны превышать 10 % и минимального различия между топологиями сети по величине технологических потерь и количеству отключаемых ветвей.

Оценивать различия между вариантами топологии распределительной сети предлагается на основе расстояния Левенштейна, под которым понимается количество оперативных переключений необходимых для преобразования одной топологии распределительной сети в другую. Приводится блок-схема алгоритма определения вариантов топологии распределительной сети 6-10 кВ на основе расстояния Левенштейна, а также объединенная блок-схема алгоритмов изменения топологии сельских электрических сетей 6-10 кВ, представляющая собой синтез трех предложенных алгоритмов.

**В третьей главе** приведены результаты экспериментальных исследований, представляющие собой:

– сопоставление величин нагрузочных потерь электрической энергии измеренных для одного из фидеров ПС «Геймановская» с рассчитанными с помощью модернизированного алгоритма обратного удаления и алгоритма роя частиц;

– проверку эффективности разработанных алгоритмов на тестовых схемах распределения электроэнергии (симметричная распределительная сеть и схема IEEE 33 bus) и в реальных сетях (распределительные сети Прикубанского округа и распределительные сети Усть-Лабинского района), путем сопоставления результатов расчета потерь активной мощности и отклонений напряжения для исходной схемы и найденных для нее эффективных топологий.

**В четвертой главе** произведен расчет нагрузочных потерь электрической энергии для рабочей и найденной с помощью разработанных алгоритмов эффективной топологии распределительной сети Усть-Лабинского района, выполнена оценка снижения эксплуатационных издержек при переходе к найденной эффективной схеме распределительной сети. Аналогичные расчеты произведены для электрической сети АО ОПХ «Центральное».

**В заключении** подведены итоги исследования, даны рекомендации производству и обозначены перспективы дальнейшего исследования.

### **3 Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Основные научные положения и выводы достаточно корректно обоснованы методами оптимизации на графах, известными методами из

теоретических основ электротехники и матричной алгебры, методами эвристического моделирования.

Обоснованность научных положений также подтверждается проведенным анализом научных публикаций российских и зарубежных авторов по теме исследования. Диссертационная работа содержит необходимые ссылки на литературные источники.

#### **4 Научная новизна исследований и достоверность полученных результатов**

В качестве научной новизны автором выдвинуты следующие положения:

- целевая функция задачи оптимизации схемы сельской распределительной сети 6-10 кВ по критерию минимума технологических потерь электроэнергии;
- модернизированный алгоритм обратного удаления, имеющий сниженную асимптотическую сложность;
- комбинированный алгоритм, позволяющий определять места размыкания в схеме распределительной сети 6-10 кВ для снижения величины технологических потерь электрической энергии;
- алгоритм определения вариантов топологии сельской распределительной сети 6-10 кВ.

Все пункты новизны имеют новую информацию и содержат оригинальные подходы, которые ранее не приводились в научной литературе при исследованиях по данному направлению. Достоверность научных положений и выводов подтверждается верификацией работы алгоритмов на различных типах схем и апробацией результатов исследований в действующих электрических сетях.

#### **5 Теоретическая и практическая значимость работы**

Значимость проведенных исследований для науки и практики представляют:

1. Целевая функция, позволяющая оптимизировать схему сельской распределительной сети 6-10 кВ по критерию величины технологических потерь электроэнергии.
2. Комбинированный алгоритм, который позволяет снизить технологические потери электроэнергии в сельской распределительной сети 6-10 кВ, за счёт изменения её топологии.
3. Алгоритм определения вариантов топологии распределительной сети 6-10 кВ, которые могут быть использованы при её изменении в процессе эксплуатации.
4. Полученные результаты исследований, позволяющие использовать алгоритмы для решения оптимизационных задач, возникающих при проектировании новых сельскохозяйственных распределительных сетей 6-10 кВ и реконструкции существующих.

## 6 Замечания по диссертационной работе

1. В названии работы и далее по тексту диссертации автор использует термин «технологические потери», однако в работе рассматриваются исключительно нагрузочные потери электрической энергии в ЛЭП напряжением 6-10 кВ, которые являются лишь частью технологических потерь. При этом, в первой главе автор подробно описывает принятый подход к классификации потерь электрической энергии, совершенно справедливо отмечает их различную природу возникновения и известные способы борьбы, однако далее пишет (стр.16): «В рамках данного научного исследования при упоминании технологических потерь речь будет идти именно о нагрузочных (технических) потерях электроэнергии в линиях электропередач сельских электрических сетей 6-10 кВ». На взгляд оппонента это абсолютно не логично и в названии диссертации следовало бы термин «технологические потери» заменить на «нагрузочные потери».

2. Имеются некоторые неточности при формулировании ограничений, накладываемых на область допустимых топологий схем распределительной сети (выражение 2.3). В качестве одного из ограничений автор рассматривает «максимальную величину отклонения напряжения « $U_{\text{мин}}$ » у каждого конечного потребителя», которая не должна превышать величины 10 %, и ссылается на ГОСТ 13109-97 (в списке литературы источник 39). Однако, данный ГОСТ уже не действует, а действующий ГОСТ 32144-2013 нормирует отклонение напряжения в точке передачи электрической энергии потребителю, и чаще всего это сеть напряжением 0,38 кВ.

3. Одной из особенностей предлагаемого автором модернизированного алгоритма обратного удаления является сортировка ветвей по величине тока и исключение из отсортированного списка 25 % ветвей, имеющих наибольшие значения токов. Однако, ветви с наибольшим значением тока это в первую очередь ветви на головных участках сети. Если такие ветви сразу исключаются, то как следует из блок-схемы модернизированного алгоритма (рисунок 2.1), проверка условия связности схемы никогда не будет выполнена.

4. Для оценки эффективности проведенной модернизации алгоритма обратного удаления автор в автореферате на рисунке 2 приводит графики асимптотических сложностей, которые представляют собой зависимость изменения величины асимптотической сложности от номера схемы распределительной сети. При этом в автореферате ничего не говорится о том, что это за схемы и чем они отличаются друг от друга. Однако, в тексте диссертации, аналогичные зависимости построены на рисунке 2.3, где по оси абсцисс обозначены не номера схем, а данные по количеству вершин и ветвей в рассматриваемых схемах. По мнению оппонента такое представление результатов является более информативным и именно его следовало бы использовать в автореферате.

5. Не ясно, что автор понимает под критерием останова в блок-схеме алгоритма роя частиц (рисунок 2.4) и блок-схеме алгоритма определения вариантов топологии распределительной сети (рисунок 2.7).

6. Для чего во второй главе «РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ИЗМЕНЕНИЯ ТОПОЛОГИИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6-10 кВ, СНИЖАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ» автор на рисунке 2.6 приводит схему сети напряжением 0,38 кВ и использует ее для вычисления «теоретической величины полученного эффекта от использования комбинированного алгоритма»?

Также не ясно с результатами работы каких «других алгоритмов» автор сопоставляет расчеты технологических потерь электроэнергии при изменении топологии рассматриваемой схемы.

7. В третьей главе, при определении эффективных топологий для тестовых схем, автор утверждает (стр. 74), что «топология, полученная с помощью комбинированного алгоритма, совпадает с топологией, получаемой конкурентными алгоритмами других ученых, но определяется в среднем в 3 раза быстрее». Однако, при этом не приводится ни перечень «конкурентных алгоритмов», ни результаты их работы, позволяющие сделать подобное заключение.

8. Экспериментальные исследования ограничиваются исключительно сопоставлением результатов расчета потерь мощности и отклонений напряжения для исследуемых исходных схем сети и полученных для них эффективных топологий. При этом не отражено, как будут согласовываться потери электрической энергии в реальной сети с измененной топологией с результатами расчета.

9. Следовало бы зарегистрировать программу для ЭВМ, реализованную на основании разработанных алгоритмов.

10. В отношении формулировок итогов выполненного исследования имеются следующие замечания:

– п.2, что значит «модернизированный алгоритм обратного удаления работает до 19 раз быстрее классического»? Если сравнивается время работы двух алгоритмов, то корректно использовать предлог «в», если речь идет о том, что время работы удалось сократить, например, до 19 сек., то следовало бы использовать единицы времени. В отношении снижения асимптотической сложности, тоже не ясно, почему в выводах отражен некоторый частный случай? Ведь из представленных рисунков (рисунок 2 в автореферате и рисунок 2.3 в тексте диссертации) и данных таблицы 2.1 видно, что с увеличением ветвей и вершин это соотношение не остается постоянным;

– в п.3 указано, что величина технологических потерь электрической энергии может быть снижена на 3,94-15,16% в сравнении с аналогичными алгоритмами. Диапазоны указанного интервала чему соответствуют – степени разветвленности рассматриваемых схем, используемым алгоритмам расчета или каким-то другим факторам?

– в п.4 указан интервал технологических потерь 3,9-14,3%, однако, в выводах по главе 2 (вывод 5) этот интервал указан, как 3,9-15,5%;

– в п.5 не ясно, что автор понимает под теоретическими данными и почему сопоставляет с ними результаты расчетов величины технологических

потерь. Разве результаты расчетов по разработанным алгоритмам не являются теоретическими данными?

### 7 Заключение

Отмеченные замечания несколько снижают качество проведенного диссертационного исследования, однако не влияют на теоретические и практические результаты диссертации.

Диссертационная работа «Алгоритмы изменения топологии сельских электрических сетей 6–10 кВ, снижающей технологические потери электроэнергии» содержит новые научно-обоснованные технологические решения, имеющие существенное значение для развития сельского хозяйства в стране, соответствует пунктам 9-11, 13, 14 действующего «Положения о порядке присуждения ученых степеней» утвержденного Правительством Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (ред. от 16.10.2024) «О порядке присуждения ученых степеней» и является завершенной научно-квалификационной работой. Автор диссертации Грищенко Дмитрий Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.2 «Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса».

Официальный оппонент:

кандидат технических наук,

доцент,

«18» марта 2026 г.

Исупова А.М.

Ф.И.О. лица, предоставившего отзыв	Исупова Александра Михайловна
Учёная степень	Кандидат технических наук
Учёное звание	Доцент
Специальность, по которой защищена диссертация	05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве
Место работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет»
Адрес	355035, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12
Телефон	8-938-164-23-97
E-mail	alsite1@rambler.ru

Подпись, должность, ученую степень и звание Исуповой А.М. удостоверяю:

С отзывом оригинального  
отопления ознакомлен  
30.03.2026 Д.А. Грищенко Д.Н.

Подпись Исуповой А.М.  
Удостоверяю: начальник общего отдела  
ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ  
Исупова А.М.  
«18» 03 2026

Председателю  
диссертационного совета  
35.2.019.03 на базе  
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ  
Проф. Оськину С.В.

Сведения об официальном оппоненте  
по диссертационной работе Грищенко Дмитрия Николаевича на тему:  
«Алгоритмы изменения топологии сельских электрических сетей  
6–10 кВ, снижающей технологические потери электроэнергии»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по  
специальности 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и  
энергоснабжение агропромышленного комплекса.

Фамилия, Имя, Отчество	Исупова Александра Михайловна
Учёная степень	Кандидат технических наук, 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве
Наименование диссертации	Защита погружного электродвигателя от «сухого хода»
Учёное звание	Доцент
Полное наименование организации в соответствии с уставом на момент представления отзыва	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет»
Наименование подразделения	Кафедра электроснабжения и эксплуатации электрооборудования
Должность	доцент
Адрес организации места работы	355035, г. Ставрополь, пер. Зоотехнических, 12
Телефон и официальный сайт организации места работы	8(8652)35-22-82 <a href="http://stgau.ru">http://stgau.ru</a>
Основные публикации официального оппонента, затрагивающие сферу диссертационного исследования соискателя	
1. Хорольский В.Я. Снижение коммерческих потерь электроэнергии в сельских электросетях / В.Я. Хорольский, А.М. Исупова, И.К. Шарипов // Сельский механизатор. – 2022. – № 12 – С. 4–5.	
2. Методические положения расчета потерь электроэнергии в сельских электрических сетях / А.М. Исупова // Вестник АПК Ставрополя. – 2022. – № 1 (45) – С. 4–8.	
3. Юндин К.М. Методология выбора технических мероприятий по снижению потерь электрической энергии в практике эксплуатации	

сельских электрических сетей / К.М. Юндин, В.Я. Хорольский, А.М. Исупова, Н.Б. Руденко // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2023. – № 4 – С. 10–17.
4. Юндин К.М. Система взаимоотношений электросетевых организаций с промышленными и сельскохозяйственными потребителями в вопросах оплаты за израсходованную реактивную электроэнергию и пути их совершенствования / К.М. Юндин, В.Я. Хорольский, А.М. Исупова, М.А. Мастепаненко // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2025. – № 5 – С. 69–73.
5. Юндин К. Алгоритм поиска оптимального способа проведения ремонтных работ в распределительных электрических сетях / К. Юндин, В. Хорольский, А. Исупова // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2024. – № S1 (32). – С. 44–48.
6. Исупова А.М. Оценка эксплуатационной надежности сельских электрических сетей по статистическим данным об отключениях / А.М. Исупова, В.Я. Хорольский, М.А. Мастепаненко, А.П. Епифанов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5 (74). – С. 121–139.
7. Юндин К. Использование сетевого планирования в практике проведения ремонтных работ в распределительных электрических сетях / К. Юндин, В. Хорольский, А. Исупова // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2023. – № S2 (29). – С. 2–7.
8. Исупова А.М. Методика определения оптимальной длительности технического обслуживания электротехнических изделий / А.М. Исупова, М.А. Мастепаненко, В. Я. Хорольский, И.К. Шарипов, В.Н. Шемякин // Электротехника. – 2022. – № 7. – С. 28–30.
9. Исупова А.М. Выбор показателей для оценки эффективности работы оборудования сельских электросетей / А.М. Исупова, В.Я. Хорольский // Сельский механизатор. – 2022. – № 5. – С. 36–37.
10. Хорольский В.Я. Оптимизация периодичности технических обслуживаний электросетевого оборудования / В.Я. Хорольский, В.Н. Шемякин, А.М. Исупова // Сельский механизатор. – 2022. – № 7. – С. 36–37.
11. Исупова А.М. Рациональная организация подготовительных работ при проведении капитальных ремонтов электросетей / А.М. Исупова, В.Я. Хорольский, В.Н. Шемякин // Сельский механизатор. – 2022. – № 8. – С. 16–19.
12. Обоснование оптимальной периодичности проведения контрольных мероприятий в сельских электрических сетях / А.М. Исупова // Вестник АПК Ставрополя. – 2022. – № 2 (46). – С. 4–7.
13. Исупова А.М. К вопросу о внедрении автоматизированных способов расчета показателей надежности электрических сетей в практику деятельности сетевых предприятий / А.М. Исупова, В.Я. Хорольский // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – № 1 (57). – С. 32–41.

14. Исупова А.М. Использование методов оптимизации для формирования резервного фонда электросетевых предприятий / А.М. Исупова, В.Я. Хорольский, Н.Б. Руденко // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – Т. 15. № 4 (60). – С. 105–115.
15. Хорольский В.Я. Методика оптимизационного синтеза систем автономного электроснабжения / В.Я. Хорольский, М.М. Украинцев, В.Н. Шемякин, А.М. Исупова // Сельский механизатор. – 2021. – № 10. – С. 32–33.

Кандидат технических наук  
по специальности 05.20.02, доцент,  
доцент кафедры электроснабжения  
и эксплуатации электрооборудования  
федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Ставропольский государственный  
аграрный университет»

«03» 02 \_\_\_\_\_ 2025 г.

Исупова А.М.

