

ОТЗЫВ

**официального оппонента, кандидата технических наук, доцента
Виноградова Александра Владимировича на диссертационную работу
Джапаровой Динары Амангельдиевны, выполненную на тему:
«НЕЙРОСЕТЕВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ
В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ» и представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук по научной специальности 05.20.02
– «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве» (по
техническим наукам) в диссертационный совет Д 999.179.03, созданный
на базе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный
университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический
университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт использования техники и нефтепродуктов в сельском
хозяйстве»**

1. Актуальность темы диссертации

Управление качеством электрической энергии в сельских электрических сетях способствует повышению эффективности систем электроснабжения сельских потребителей. В подавляющем большинстве трансформаторные подстанции (ТП) 10/0,4 кВ, установленные в сельских электрических сетях, оборудованы устройствами переключения без возбуждения (ПБВ) для регулирования напряжения. Это не позволяет осуществлять регулирование напряжения автоматически. В то же время замена ПБВ на устройства регулирования под нагрузкой (РПН) не всегда оправдана экономически, а часто технически неосуществима на уже установленных ТП 10/0,4 кВ. Основным способом регулирования напряжения в этом случае является переключение ПБВ. Это переключение должно выполняться своевременно, причём выбор положения ПБВ, в которое его необходимо переключить, является сложной задачей, требующей качественного прогнозирования отклонения напряжения в сети при изменении нагрузки в ней. Такое прогнозирование рационально

осуществлять с помощью нейросетевых технологий, а результаты прогноза представлять диспетчеру электрической сети в виде графика переключений.

Таким образом, исследование Джапаровой Д.А., направленное на решение задач нейросетевого регулирования напряжения в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей, является актуальным.

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

Целью исследования является повышение эффективности управления качеством электрической энергии, поставляемой сельскохозяйственным потребителям.

Задачи исследования, приведенные в работе, в целом отвечают поставленной цели и содержанию диссертации. Содержания глав и разделов диссертации логически вытекают из поставленных цели и задач. Рассматриваемая диссертационная работа представляет собой завершённое исследование.

3. Достоверность, обоснованность и новизна результатов исследования и рекомендаций производству

Достоверность и обоснованность выводов и результатов, полученных в диссертационной работе Джапаровой Д.А. подтверждаются:

- соответствием используемых общепринятых и частных методик поставленным задачам с учётом особенностей изучаемых объектов;
- результатами испытаний в лабораторных и полевых условиях;
- воспроизводимостью результатов и применением методов статистического и регрессионного анализа данных.

Работа содержит выводы, которые основываются на теоретических и экспериментальных исследованиях автора диссертации и отражают результаты этих исследований.

Новизна предложенных в диссертации решений заключается в том, что:

- разработана конфигурация нейронной сети для прогнозирования параметров электрической энергии, отличающаяся тем, что позволяет прогнозировать отклонение напряжения при резком изменении электрической нагрузки сельскохозяйственных потребителей;
- разработана структура нейросетевого регулирования напряжения в системах электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, отличительной особенностью которой является совместное последовательное применение нейросетевых моделей и алгоритмов для ее реализации; на первом этапе формирования – применяется многослойный перцептрон, который осуществляет прогнозирование отклонения напряжения; на втором этапе применяется имитационная модель сельской электрической сети 10/0,4 кВ, которая позволяет вычислить параметры качества электрической энергии в узлах электрической нагрузки и удаленного сельскохозяйственного потребителя;
- разработана математическая модель прогнозирования коэффициента искажения синусоидальности, отличающаяся тем, что учитывает характер изменения коэффициента искажения синусоидальности от потребляемой активной мощности источников света.

Отмечается, что результаты работы используется в учебном процессе по подготовке бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика и электротехника» и аспирантов направления «Электро- и теплотехника», приняты к внедрению на сельскохозяйственном предприятия Колхоз – племенной завод им. Ленина и ПАО «МРСК Центра» – «Тамбовэнерго». Намечены перспективы дальнейших направлений исследований.

4. Оценка содержания диссертации и соответствие ее предъявляемым требованиям

Диссертационная работа оформлена в соответствии с существующими требованиями, в классическом стиле, и содержит введение, пять глав, основные выводы и результаты исследований, библиографический список и приложение. Общий объем диссертационной работы 161 страница, в том числе 51 рисунок, 12 таблиц, список использованной литературы из 142 наименований и приложение на 22 страницах. Оформление работы соответствует Положению о порядке присуждения ученых степеней.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определены цель и основные задачи исследования, отмечена научная новизна работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса управления качеством электрической энергии в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей» выполнен обзор литературы по теме исследования, рассмотрены вопросы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, особенности управления качеством электрической энергии и регулирования напряжения в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей. Выполнен анализ возможностей применения нейронных сетей для прогнозирования параметров качества электрической энергии. Постановлены задачи диссертационной работы.

Во второй главе «Теоретические исследования моделирования и прогнозирования показателей качества электрической энергии» проведены исследования имитационной модели сельской электрической сети и обоснование конфигурации нейронной сети для прогнозирования отклонения напряжения в сельских электрических сетях.

Разработана имитационная модель сельской электрической сети, для чего использована компьютерная программа MATLAB с пакетом программных вычислений в области электроэнергетики SimPowerSystems. Это позволило осуществлять моделирование рассматриваемой сети с

нагрузкой различного характера. В модели учтена несимметрия фазных токов и напряжений, которая является характерной для сельских распределительных электрических сетей вследствие преобладания однофазной нагрузки. Оценено влияние однофазных нагрузок на отклонение напряжения у сельскохозяйственных потребителей. Выполненное по итогам моделирования обоснование конфигурации нейронной сети для прогнозирования отклонения напряжения в сельских электрических сетях выявило необходимые характеристики искусственной нейронной сети, обеспечивающие наименьшую из исследованных вариантов среднюю абсолютную ошибку прогноза равную 4,8 %. Эти характеристики следующие: конфигурация искусственной нейронной сети - многослойный перцептрон с функциями активации типа *logsig* в скрытом слое и *purelin* в выходном; матричное представление исходных данных с размерностью [12;12]; количество итераций (эпох) обучения: 5; значение степени минимального градиента ошибки *min_grad*: $1e-7$.

В третьей главе «Экспериментальные исследования показателей качества электрической энергии сельских потребителей» представлены результаты экспериментальных исследований проверки адекватности разработанной имитационной модели сельской электрической сети с. Покрово-Пригородное, а также закономерностей изменения параметров качества электрической энергии (КЭ) сельских потребителей: производственной нагрузки Колхоз – Племенной Завод им. Ленина и бытовой нагрузки жилого сектора село Покрово-Пригородное.

Экспериментальные исследования подтвердили результаты имитационного моделирования. Отклонение теоретических данных от экспериментальных составляет не более 3,5%. Установлено, что коэффициент искажения синусоидальности фазных напряжений сельской бытовой нагрузки изменялся в ходе экспериментов с 2% до 6% в зависимости от доли подключённой однофазной нагрузки. Таким образом, выявлена доля влияния современной коммунальной бытовой нагрузки сельских

потребителей на искажение синусоидальности кривой напряжения на шинах подстанции. Другой характерной особенностью режима электроснабжения сельскохозяйственного предприятия, является сильное влияние нагрузки на отклонение напряжения в ночное и дневное время, связанное с отсутствием системы регулирования напряжения.

Лабораторные исследования влияния источников света на увеличение гармонических составляющих напряжения и тока показали, что в гармонических составляющих напряжения и тока преобладают нечетные гармоники. Величина 3-й гармоники тока достигает 74% от основной частоты тока. На основании полученных данных разработана математическая модель, отражающая характер изменения коэффициента искажения синусоидальности в функции потребляемой активной мощности источников света. Математическая модель позволяет вычислять прогнозные значения увеличения коэффициента искажения синусоидальности электрических сетях при использовании компактных люминесцентных ламп в качестве осветительной нагрузки.

В четвертой главе «Разработка системы нейросетевого регулирования напряжения» сформированы схемы системы нейросетевого регулирования напряжения, а также проведено физическое моделирование сельской электрической сети с целью проверки работы нейросетевого регулирования напряжения для обеспечения необходимого уровня напряжения у наиболее удаленного потребителя.

Особенностью предложенной структурной схемы регулирования напряжения является наличие выстроенной цепочки взаимосвязанных модулей и наличие обратных связей, позволяющих поддерживать отклонение напряжения в системе электроснабжения сельскохозяйственных потребителей не выше заданного значения. Суть предложенного нейросетевого регулирования напряжения заключается в регулировании напряжения с помощью переключения устройств ПБВ персоналом электросетевых организаций по сформированным графикам переключений.

Графики формируются в результате нейросетевого прогнозирования отклонения напряжения. В работе установлено, что в результате работы нейросетевого регулирования напряжения среднее значение отклонения напряжения в течение года составит не более 3%, а на зажимах удаленной осветительной нагрузки не более 3,8%.

В пятой главе «Технико-экономическое обоснование системы нейросетёвого регулирования напряжения в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей» рассчитана возможная экономическая эффективность применения разрабатываемой системы. Установлено, что за счет внедрения системы нейросетевого регулирования напряжения в узле электрической нагрузки, питающей сельскохозяйственных потребителей, годовой ущерб потребителям из-за работы с пониженным напряжением снижается с 185 до 14,3 тыс. руб/год, а экономический эффект составит 457,1 тыс. руб.

В заключении приведены итоги исследования, оформленные в виде выводов, в которых сформулированы основные результаты, полученные эффекты и предложения по их использованию. В целом структура и содержание работы продуманы, соответствуют заявленной теме.

5. Подтверждение опубликованных результатов диссертационной работы и соответствие автореферата содержанию диссертации

Материалы диссертационной работы опубликованы в 14-ти научных статьях, в том числе в 4-х статьи опубликовано в рецензируемых изданиях из перечня, рекомендованного Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации и 2 статьи в журнале, индексируемом в системе Scopus. Общий объем публикаций 3,89 печ. л., из которых 2,7 печ. л. принадлежит лично соискателю. Это соответствует п. 11 и 13 Положения о порядке присуждения ученых степеней. Результаты исследования неоднократно докладывались на конференциях.

Автореферат в достаточной мере отражает структуру и основное содержание диссертации. Материалы диссертации и результаты исследований, опубликованные автором работы в научных изданиях, могут быть отнесены к научной специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве (по техническим наукам).

6. Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы

Личный вклад автора в работах, выполненных лично и в соавторстве, и в диссертации состоит в то, что на основе проведенного анализа способов и средств управления КЭ в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей автором разработаны модель сельской электрической сети 10/0,4 кВ, математическое обеспечение оптимального управления сбора информации с приборов АСКУЭ, модель НС, позволяющая осуществлять прогнозирование параметров качества электрической энергии сети с учетом скачкообразного изменения потребления электроэнергии, а также математическая модель, позволяющая прогнозировать увеличения коэффициента искажения синусоидальности от потребляемой активной мощности газоразрядных ламп. Проведены экспериментальные исследования качества электрической энергии в системах электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, результаты исследований опубликованы автором и прошли апробацию на конференциях разного уровня.

7. Внедрение в производство

Основные результаты исследований приняты к внедрению на сельскохозяйственном предприятия Колхоз – племенной завод им. Ленина и ПАО «МРСК Центра» – «Тамбовэнерго», а также используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Тамбовского ГТУ.

8. Соответствие диссертации и автореферата требованиям положения о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа и автореферат Джапаровой Д.А. соответствуют требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней (№ 842 от 24 сентября 2013 г.).

9. Замечания по диссертационной работе

1. Задача «Провести оценку известных способов и средств управления качеством электрической энергии и регулирования напряжения в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей» отсутствует в пункте «Постановка задачи диссертационной работы» (стр 39-40 диссертации, пункт 1.5), но присутствует во введении.
2. В главе 3 диссертации проведено исследование влияния компактных люминесцентных ламп на показатели качества электроэнергии, в частности, на синусоидальность тока и напряжения. Не ясно, чем обосновано исследование влияния именно компактных люминесцентных ламп, так как в настоящее время они практически вытеснены светодиодными источниками света.
3. На рисунке 14 автореферата и на рисунке 4.2 диссертации показана блок-схема системы нейросетевого регулирования напряжения, представляющая собой алгоритм нейросетевого регулирования напряжения. Согласно данного алгоритма, положение ПБВ устанавливается исходя из прогноза отклонения напряжения в разные месяцы. В то же время предполагается постоянный мониторинг фактического отклонения напряжения в разных точках сети. В алгоритме не предусмотрено проведение мероприятий по корректировке положения ПБВ, если положение, выставленное по прогнозу, не обеспечивает заданный уровень отклонения напряжения в

сети. Не ясно, необходимо ли осуществлять такую корректировку и какой временной интервал наблюдений фактических отклонений напряжения достаточен для обоснования такой корректировки.

4. В работе не выполнено обоснование применения беспроводной технологии ZigBee для сбора данных о параметрах качества электроэнергии. Не приводятся технических решений по организации передачи данных по данной технологии.
5. В работе отсутствуют технические решения по реализации предложенной структурной схемы системы нейросетевого регулирования напряжения. В частности, не ясно, какими техническими средствами будет осуществляться сбор данных о фактическом отклонении напряжения в разных точках сети? Конструкция датчиков напряжения, их выбор в работе отсутствуют.
6. Не ясно, на чьем балансе будет находиться система нейросетевого регулирования напряжения и входящее в неё оборудование и кто будет осуществлять её обслуживание?
7. В тексте диссертации и автореферата имеются опечатки и неудачные фразы.

10. Заключение

Учитывая объем выполненных исследований, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, считаю, что представленная диссертационная работа Джапаровой Д.А. - это законченное, самостоятельно и на достаточном научном уровне выполненное исследование, по актуальной тематике, направленное на решение задач нейросетевого прогнозирования и регулирования напряжения в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей. Работа вносит вклад в теорию и практику прогнозирования показателей качества электроэнергии в сельских электрических сетях и регулирования напряжения в них. Поставленные вопросы и замечания не снижают ценности

проведенных исследований. Диссертация соответствует требованиям п. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (№ 842 от 24 сентября 2013 г.) и специальности 05.20.02– «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве», а ее автор – Джапарова Динара Амангельдиевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 – «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве» (по техническим наукам).

Официальный оппонент:

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории
электроснабжения и теплообеспечения
ФГБНУ «Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ»



Виноградов А.В.

подпись

27.03.2020г.

109428, Россия, г. Москва,

1-й Институтский проезд, д. 5,

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Лаборатория электроснабжения и теплообеспечения

Тел. 89208079424

E-mail: winaleksandr@rambler.ru

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

Ученый секретарь ФГБНУ
ФНАЦ ВИМ, д.т.н.

