

«УТВЕРЖДАЮ»

Врио ректора федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения  
высшего образования «Орловский  
государственный аграрный  
университет имени Н.В. Парахина»,

доктор экономических наук,  
профессор



*Т.И. Гуляева* Т.И. Гуляева

03 2020 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Джапаровой Динары Амангельдиевны «Нейросетевое регулирование напряжения в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 - «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве» 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».

### Актуальность темы исследований

Согласно майскому Указу Президента Российской Федерации «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» предусматривается обеспечение темпов роста российской экономики выше мировых посредством повышения ее

конкурентоспособности, создания в базовых отраслях экономики, в том числе агропромышленном комплексе, высокопроизводительного экспортно-ориентированного сектора с ростом экспорта продукции к 2024 г. до 45 млрд долл. США в год.

Конкурентоспособное и устойчивое развитие сельского хозяйства в современных условиях возможно за счет внедрения цифровых технологий в технологические цепочки производства сельскохозяйственной продукции, базирующиеся на применении искусственного интеллекта, интернета вещей и анализа больших данных.

Электроснабжение является неотъемлемой частью производства сельскохозяйственной продукции. Обеспечение надежного электроснабжения сельскохозяйственных производств невозможно без анализа и управления качеством электрической энергии.

В связи с этим, работа Джапаровой Динары Амангельдиевны, направленная на повышение качества электрической энергии с применением современных технологий искусственного интеллекта для поддержания нормируемого уровня напряжения на сельскохозяйственных объектах, является актуальной.

### **Научная новизна результатов исследований**

Наиболее существенные результаты, полученные лично соискателем и отличающиеся научной новизной, заключаются в следующем:

- 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 напряжения, отличающаяся тем, что учитывает характер изменения коэффициента искажения синусоидальности напряжения от потребляемой активной мощности источников света.

Достоверность полученных результатов обусловлена соответствием используемых общепринятых и частных методик поставленным задачам с учётом особенностей изучаемых объектов, испытанием в лабораторных и полевых условиях, воспроизводимостью результатов и применением методов статистического и регрессионного анализа данных.

Научная и практическая новизна диссертации подтверждается публикациями, которые изданы в открытой печати. Основные результаты диссертации изложены в соответствующих отраслевых журналах, в том числе рекомендуемых ВАК РФ и в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных, доступных широкому кругу специалистов и ученых.

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

Теоретическая значимость диссертации заключается в разработанной имитационной модели сельской распределительной электрической сети, которая позволяет осуществлять мониторинг и моделирование надежности распределительной электрической сети 10/0,4 кВ, разработанной математической модели, позволяющей прогнозировать увеличения



коэффициента искажения синусоидальности от потребляемой активной мощности газоразрядных ламп, модели нейронной сети, которая позволяет осуществлять прогнозирование параметров качества электрической энергии сети с учетом скачкообразного изменения потребления электроэнергии.

Теоретические и экспериментальные исследования позволили наметить пути совершенствования систем управления качеством электрической энергии в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей. Результаты теоретических и экспериментальных исследований были использованы в сельскохозяйственном предприятии Колхоз – племенной завод им. Ленина Тамбовского района Тамбовской области для разработки мероприятий по повышению качества электрической энергии и надежности электроснабжения.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований имеют большую практическую значимость для проектных и электросетевых подразделений компании ПАО «Россети», ОАО «Тамбовская сетевая компания», сельскохозяйственных предприятий и учебных заведений в образовательном процессе специальностей по основным образовательным программам бакалавриата: 35.03.06 – «Агроинженерия», направленность – «Электрооборудование и электротехнологии»; магистратуры: 35.04.06 – «Агроинженерия», направленность – «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве».

#### **Оценка содержания диссертации в целом**

**Во введении** обосновывается актуальность исследования, ставятся цели и задачи исследования, раскрывается его научная новизна и практическая ценность, излагаются основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Состояние вопроса управления качеством электрической энергии в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей» рассмотрены вопросы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, обзор технологий управления качеством электрической энергии

и регулирования напряжения. Проведен анализ работ авторов, посвященных исследованиям качества электрической энергии в сельском хозяйстве: А.В. Виноградова, М.В. Бородина, А.С. Гордеева, И.В. Голикова, Е.В. Крюковой.

В работе автором установлено, что в сельских электрических сетях наибольшее применение получили технологии переключения числа витков без возбуждения (ПВВ) и регулирование под нагрузкой (РПН). Для эффективной работы систем управления качеством электрической энергии с ПВВ необходима интеллектуальная система, обладающая свойствами самообучения и прогнозирования параметров качества электрической энергии, обеспечивающая поддержание нормируемого уровня напряжения у самого удаленного потребителя.

В диссертации проведен анализ работ авторов, посвященные прогнозированию параметров электрической энергии: В.И. Зацепиной, А.С. Гордеева, А.В. Чувилкина, В.А. Дулесова, Г.П. Шумилова и сделан вывод, что наилучшими результатами прогнозирования обладают нейронные сети.

**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.

В диссертации разработана имитационная модель в MATLAB SimPowerSystems на примере сельской электрической сети 10/0,4 кВ села Покрово-Пригородное Тамбовской области и проведены теоретические исследования. В результате теоретических исследований получена характеристика коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности от изменения мощности однофазной нагрузки и характеристика тока в нулевом проводе в зависимости от мощности однофазной нагрузки.

Автором диссертационной работы с целью разработки системы прогнозирования параметров качества электрической энергии были проведены

исследования по обоснованию конфигурации нейронной сети. Для работы с нейронными сетями использован пакет NNTool программы MATLAB 2016. В ходе проведенных имитационных исследований по прогнозированию отклонения напряжения были обоснованы характеристики искусственной нейронной сети, показывающую наименьшую из исследованных вариантов среднюю абсолютную ошибку прогноза равную 4,8%.

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

Согласно проведенным исследованиям на сельскохозяйственном предприятии «Колхоз – Племенной Завод им. Ленина» были установлены закономерности изменения параметров качества электрической энергии: отклонения фазных напряжений, коэффициентов несимметрии по нулевой и обратной последовательности, коэффициентов искажения синусоидальности фазных напряжений в зависимости от характера электрической нагрузки.

С целью проверки адекватности имитационной модели, представленной во второй главе диссертации были проведены экспериментальные исследования, повторяющие теоретические с измерениями отклонения напряжения. Согласно полученным данным, экспериментальные исследования подтверждают результаты имитационного моделирования. Отклонение теоретических данных от экспериментальных составляет не более 3,5%.

По результатам экспериментальных исследований, проведенных в диссертационной работе установлено влияние коммунальной сельской бытовой нагрузки на искажение синусоидальности кривой напряжения на шинах подстанции. По результатам лабораторных исследований получена



математическая модель, отражающая характер изменения коэффициента искажения синусоидальной кривой напряжения в функции потребляемой активной мощности люминесцентных ламп.

**В четвертой главе** «Разработка системы нейросетевого регулирования напряжения» сформирована структурная схема и блок-схема системы нейросетевого регулирования напряжения.

Автором диссертационной работы проведено физическое моделирование сельской электрической сети с целью проверки работы нейросетевого регулирования напряжения для обеспечения необходимого уровня напряжения у наиболее удаленного потребителя.

Физическое моделирование системы управления качеством электрической энергии в сельской электрической сети выполнялось в лаборатории кафедры «Электроэнергетика» Тамбовского государственного технического университета.

В результате физического моделирования подтверждена эффективность нейросетевого регулирования напряжения: на зажимах трансформатора среднее значение отклонения напряжения не более 3%, а на зажимах осветительной нагрузки не более 3,8%, что находятся в пределах требований ГОСТ.

**В пятой главе** «Технико-экономическое обоснование системы нейросетевого регулирования напряжения в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей» рассчитана возможная экономическая эффективность применения разрабатываемой системы.

Согласно проведенным расчетам установлено, что за счет внедрения системы нейросетевого регулирования напряжения в узле электрической нагрузки, питающей сельскохозяйственных потребителей, экономический эффект составляет 457,1 тыс. руб.

## **Общая характеристика работы**

Диссертация включает: 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 из 22 страницы.

По теме диссертационной работы опубликовано 14 статей, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК 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.

Автореферат соответствует содержанию работы.

Структура построения диссертации вытекает из поставленной цели и задач исследований. Изложение диссертации характеризуется логичностью и последовательностью поставленных задач.

## **Замечания по диссертационной работе**

1. В разделе 1.1 «Вопросы энергообеспечения сельскохозяйственных потребителей» на стр. 15 сделан вывод, что «Переход на современные сети с использованием технологий SmartGrid позволит повысить качество электрической энергии, которой снабжаются современные сельскохозяйственные предприятия». Следовало бы привести примеры реализации цифровых технологий, оказывающих влияние на повышение качества электрической энергии.

2. В разделе 1.3. «Особенности управления качеством электрической энергии и регулирования напряжения в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей», следовало бы более развернуто провести анализ преимуществ и недостатков использования экспертных методов для прогнозирования параметров качества электрической энергии.



3. В разделе 2.1. «Разработка имитационной модели сельской электрической сети» на стр.48 приведен рисунок 2.3 «Имитационная модель участка сельской электрической сети 10/0,4 кВ (село Покрово-Пригородное, Тамбовская обл.)».Следовало бы представить по тексту более подробное описание имитационной модели.

4. На рисунке 2.16 стр. 66 приведено окно настройки обучения пакета nntool. Без ущерба содержанию второй главы его можно было дать в приложении.

5. В разделе 3.1. «Исследование закономерностей изменения параметров качества электрической энергии сельских потребителей» на рисунках 3.4. – 3.8 приведены результаты измерений ПКЭ на сельскохозяйственном предприятии Колхоз - Племенной Завод им. Ленина Тамбовская области, Тамбовского района, село Покрово-Пригородное. Следовало бы указать за какой период были проведены экспериментальные исследования.

6. В разделе 4.2. «Экспериментальные исследования эффективности системы нейросетевого регулирования напряжения» на стр. 101 приведен рисунок 4.5 «Структурная схема лабораторной установки исследования нейросетевого регулирования напряжения». На рисунке отсутствуют параметры измеряемых величин.

7. В разделе 5.2. «Определение экономических потерь при снижении напряжения в узле электрической нагрузки» приведены формулы 5.4–5.6. В работе не указано, как в дальнейшем они были использованы в определении потерь электроэнергии.

### **Завершенность и качество оформления диссертационной работы**

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и оформлена с соблюдением требований ВАК. Диссертация и автореферат написаны хорошим литературным языком, в работе

представлено достаточное количество иллюстраций, наглядно доказывающих эффективность и полноту полученных автором результатов.

Сформулированная автором тема исследования, ее цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, выносимые на защиту научные положения, а также выводы и рекомендации изложены в логической последовательности, взаимосвязаны друг с другом.

На основании анализа теоретических и экспериментальных исследований сформулировано заключение диссертационной работы, включающее в себя семь общих выводов, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Диссертационные исследования соответствуют паспорту специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве.

### **Заключение**

В целом, несмотря на сделанные замечания, диссертация Джапаровой Динары Амангельдиевны представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, содержащую решение важной научно-технической задачи.

Диссертация соответствует требованиям, изложенным в пунктах 9,10 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21.04.2016 г. № 335, а ее автор, Джапарова Динара Амангельдиевна, достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве.

Диссертационная работа заслушана, обсуждена и одобрена на расширенном заседании кафедры «Электроснабжение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

