

На правах рукописи

Тишков Виталий Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Специальность 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и
энергоснабжение агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена на кафедре электроснабжения и электротехники имени академика И. А. Будзко Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

Научный руководитель**Белов Сергей Александрович**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения и электротехники имени академика И. А. Будзко ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

Официальные оппоненты:**Воронин Евгений Алексеевич**

доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела роботехнических систем Федерального исследовательского центра «Информатика и управление»

Удинцев Дмитрий Николаевич

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электроэнергетических систем НИУ «МЭИ»

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет народного хозяйства имени В. И. Вернадского»

Защита состоится 21 декабря 2023 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.030.03 при ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» и на сайте Университета www.timacad.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 20___ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Н. Н. Пуляев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования.

Распределительные электрические сети 0,4-35 кВ современной России имеют характеризуются частыми технологическими нарушениями, которые образуются в результате отказа различных элементов электрических сетей. Сети, располагающиеся на территории сельских районов нашей страны, имеют повышенным уровнем износа электрооборудования, несовершенством электрических схем питания, большой протяженностью воздушных и кабельных линий 6-10 кВ, физическим и моральным устареванием оборудования. В процессе исследования было установлено, что частота отказов ω для потребителей II и III категории превышает допустимые значения времени перерывов в год более 9,2 и 72 час/год соответственно. Недоотпуск электрической энергии и затраты на аварийно-восстановительные работы сельскохозяйственным потребителям составляет около 2-4 % от всего годового недоотпуска электросетевыми организациями Балашихинских электрических сетей и наносимый ущерб составляет около 5-20% от годового ущерба всех потребителей согласно годовым отчетам электросетевых организаций. Система планово-предупредительных ремонтов (ППР) предполагает производить необходимые технические мероприятия по поддержанию необходимого уровня надежности, но на сегодняшний день не всегда способна удержать показатели надежности в необходимых рамках.

Правительство РФ и министерство энергетики РФ особое внимание уделяет повышению энергоэффективности и энергосбережения, а также занимаются вопросами применения перспективных направлений, которые в краткосрочный период способны поддержать необходимый уровень надежности, что прямо отразится на всех отраслях экономики нашего государства в целом. Поэтому на сегодняшний день на основе опыта реализованных проектов повышения надежности распределительных электрических сетей перспективным направлением стало использование информационных технологий.

Для качественного изменения показателей надежности за счет внесения изменений порядка проведения мероприятий технического обслуживания и ремонта (ТОиР) необходимо сформировать оценочные показатели уровня надежности единичного элемента электрической сети, которые дадут оценку реального технического состояния, степени важности и ненадежности такого элемента для участков и всей сети в целом. На их основе необходимо сформировать математическую модель, которая позволит грамотно производить технические мероприятия согласно системе ППР и выработать методику проведения таких мероприятий, что позволит восстановить и поддерживать необходимый уровень надежности. Применение нейронных технологий для прогнозирования такие оценочных показателей позволит производить планирование технических мероприятий на различные временные промежутки и производить планирование таких работ.

Сформированная методика определения показателей надежности с применением интеллектуальных технологий на основе нейронных сетей

позволит обслуживать и ремонтировать наиболее важные и изношенные элементы электрической сети, тем самым уменьшая количество отказов, недоотпуск электрической энергии и ущерб, наносимый потребителям.

Степень разработанности темы исследования. Повышенный износ электрических сетей приводит к более частым технологическим нарушениям или отказам оборудования, что способствует увеличению экономических потерь от недоотпуска электрической энергии электросетевыми организациями и ущербу, наносимым потребителям. Большая протяженность и обширный объем единиц оборудования в электрических сетях не позволяют быстро производить реконструкционные работы по замене неисправных элементов электрической сети. Проводимые работы по ТОиР зачастую проводятся без учета реального состояния оборудования. Ряд элементов электрических сетей подвергается ремонту, хотя еще не израсходован запас надежности для их дальнейшей эксплуатации. Кроме того, следует отметить существующую систему планово-предупредительных ремонтов, которая часто подвергается критике со стороны электросетевых организаций в процессе планирования мероприятий, способствующих снижению расходов на работы по ТОиР. Для решения данной проблемы необходимо определить перспективное направление повышения надежности электрических сетей за счет более рационального определения объемов планово-предупредительных ремонтов за счет применения современных информационных технологии.

Проблемой повышения надежности распределительных электрических сетей занимались многие ученые, среди которых: И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, Д.Н. Удинцев, С.И. Белов, В.М. Расторгуев, А.В. Виноградов, С.С. Анашкин, А.С. Ванин, А.В. Ланин, С.В. Авраменко, В.А. Буторин, Н.И. Воропай, Ю.Б. Гук, Г.Ф. Ковалев, Л.М. Рыбаков, Д.С. Стребков, О.И. Хомутов и др. в работах которых представлены методы повышения показателей надежности распределительных электрических сетей, рекомендации по их повышению и пути развития.

Однако анализ вышеуказанных работ показал, что еще недостаточно изучены такие проблемы как:

-оценка уровня реального технического состояния, важности и ненадежности единичного элемента электрических сетей

-использование рациональных приемов при определении работ ТОиР;

Цель работы. Разработка методики прогнозирования оценочных показателей элементов электрических сетей с использованием нейронных сетей, и на её основе, адекватно производить планирование работ по ТОиР с учетом физического состояния оборудования, которое влияет на очередность и на уровень надежности в целом.

Объект исследования. Сельскохозяйственные потребители в распределительных электрических сетях.

Предмет исследования. Показатели надежности в распределительных электрических сетях.

Задачи исследования:

- 1) Выполнить анализ показателей надежности сельскохозяйственных потребителей различных категорий надежности;
- 2) Произвести выбор современных информационных технологий на основе международного и отечественного опыта для повышения надежности распределительных электрических сетей;
- 3) Сформировать оценочные показатели надежности единичного элемента электрической сети и на их основе определить систему ранжирования порядка проведения работ ТОиР;
- 4) Составить инженерный и языковой алгоритм работы нейронной сети на основании сформированных оценочных показателей;
- 5) Применить сформированную нейронную сеть для прогнозирования оценочных показателей надежности участка Балашихинских распределительных электрических сетей;
- 6) Произвести оценку экономической эффективности предложенной методики прогнозирования по различным показателям и сравнить применяемую стратегию повышения надежности с опытом применения других стратегий в распределительных электрических сетях по различным показателям.

Методика исследования: Научные исследования проводились с применением методов статистической обработки данных, методов инженерного эксперимента, компьютерного моделирования и произведение вычислений как аналитическими, так и численными методами.

Научная новизна работы включает:

1. Методику обработки статистических данных электросетевых организаций показателей надежности элементов существующих электрических сетей;
2. Оценочные индексы надежности электрических сетей, учитывающие важность, ненадежность и реальное техническое состояние элементов СЭС;
3. Итоговый показатель, отражающий многокритериальное свойство единичного элемента СЭС;
4. Методику составления перечня работ по ТОиР, с учетом прогнозируемых данных от нейронной сети на базе программного комплекса MATLAB Simulink на основе полученных статистических показателей электрической сети.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Теоретическая значимость работы заключается в проведении анализа статистических данных существующих электрических сетей по различным параметрам и определении перспективных информационных технологий для задач повышения уровня надежности электрических сетей.

Практическая значимость работы заключается в формировании оценочных показателей, их прогнозирования на основе нейронных сетей и методике формирования рационального перечня работ по техническому обслуживанию и ремонту, которые позволят уменьшить количество отказов в электрических сетях, что снизят экономические потери от недоотпуска электрической энергии и ущерб, наносимый электропотребителям.

Положения, выносимые на защиту:

- 1) Методика обработки статистических данных показателей надежности распределительных электрических сетей.
- 2) Оценочные показатели единичного элемента электрической сети, учитывающие важность, ненадежность и реальный уровень технического состояния.
- 3) Методика ранжирования перечня работы по ТОиР.
- 4) Нейронная сеть на базе программного комплекса MATLAB Simulink прогнозирующая показатели надежности элементов электрической сети с учетом накопленной информации.

Апробация работы. Обсуждались и докладывались основные положения и результаты диссертационной работы на международных и российских научно-технических конференциях:

- Международная научно-практическая конференция «Наука - общество - технологии - 2017», РИО ИЦИПТ, Уфа, 30 мая 2017 г.

- XXII Студенческая международная научно-практическая конференция «Научное сообщество студентов: Междисциплинарные исследования», АНС «СибАК», Новосибирск; 05 июня 2017 г.

- Международная научная конференция, посвященная 130-летию Н.И. Вавилова, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва; 07 декабря 2017 г.

- Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 150-летию со дня рождения В. П. Горячкина и 175-летию со дня рождения К. А. Тимирязева, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва; 06 июня 2018 г.

- Научно-техническая конференция «Техногенная энергобезопасность и энергоресурсосбережение», МИЭЭ, Москва, 05 июля 2018 г.

- Международная научная конференция профессорско-преподавательского состава, посвященная 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, 05 декабря 2018 г.

- Международная научно-техническая конференция «Наука без границ и языковых барьеров», Орловский ГАУ, г. Орел, 19 апреля 2019 г.

- Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию А.В. Леонтовича, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, 04 июня 2019 г.

- 2-я Международной молодежной конференции 2020 года по радиоэлектронике, электротехнике и энергетике (РЕЕРЕ), МЭИ, г. Москва, 09 апреля 2020 г.

- Международная научно-практическая конференция СОВРЕМЕННАЯ НАУКА КАК ФАКТОР И РЕСУРС ПЕРЕДОВОГО РАЗВИТИЯ, МЦНП «НОВАЯ НАУКА», г. Петрозаводск, 18 сентября 2023 г.

Публикации научных работ. По теме опубликовано 18 печатных научных работ, в том числе 3 работы рецензируемых изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Российской Федерации, 1 работа включена в научную базу Scopus, 13 работ в прочих изданиях, 1

свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (№2023616934 от 04.04.2023 г.) (всего 4,06 авторских печатных листов).

Личный вклад соискателя.

Личный вклад соискателя заключается в:

- формулировании задач исследования, проведении анализа показателей надежности и статистических данных распределительных электрических сетей;
- определении перспективных направлений повышения надежности электрических сетей с применением современных информационных технологий;
- разработке оценочных показателей элементов электрической сети, оценивающих важность, ненадежность и реальный уровень технического состояния;
- разработке системы ранжирования работ ТОиР и нейронной сети, прогнозирующих предложенные оценочные показатели.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определена степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, получена научная новизна, выведены теоретическая и практическая значимость, выбраны методология и методы исследования, выявлены положения, выносимые на защиту, проведена апробация результатов.

В первой главе диссертационной работы проведен анализ показателей надежности распределительных электрических сетей, составляющей которых стала оценка агропромышленных потребителей в составе Балашихинских электрических сетей. Проведена оценка эксплуатируемого оборудования и возникающих в них технологических нарушений и на их основе рассчитаны экономические потери от недоотпуска электрической энергии и ущерба наносимых сельскохозяйственным потребителям. В результате анализа выявлены основные проблемные места и предложено произвести корректировку алгоритма проводимых работ по техническому обслуживанию и ремонту.

В результате аналитического обзора технической документации и отчетов Балашихинских электрических сетей установлено, что показатели надежности второй и третьей категории потребителей не всегда соответствуют нормативным значениям и частота отказов ω превышает допустимые значения ($\omega_{II}(\tau \leq 4) = 2,3$ отказа в год, 9,2 часа/год, $\omega_{III}(\tau \leq 24) = 3$ отказа в год, 72 часа/год.) Основной проблемой таких отключений становится моральный и физический износ оборудования и, в частности, кабельных электрических сетей 6-10 кВ, которые имеют высокую загрузку и превышенный срок эксплуатации.

Проведенная экономическая оценка технологических нарушений, происходящих в Балашихинских электрических сетях в составе сельскохозяйственных потребителей, показала, что потери от недоотпуска электрической энергии и затраты на аварийно-восстановительные работы составляют более 5 млн. руб., что составляет около 2-4% в год от всей

транспортируемой электроэнергии и наносимый ущерб потребителям составляет более 12 млн. руб./год и варьируется от 5 до 20% в год от всех общих потерь, которые несут потребители из-за недостаточного уровня надежности.

Анализ существующих проблемы распределительных электрических сетей показал, что действующая система технического обслуживания и ремонта не всегда способна удерживать необходимый уровень надежности каждого элемента электрической сети. Система планово-предупредительного ремонта зачастую проводит регламентирующие работы без установки уровня реального технического состояния элементов и при формировании перечня работ не рассматривают важность и возможный отказ таких элементов.

Предложено провести оптимизацию системы ППР путем внедрения современных технологий на основе существующего опыта внедрения их в задачи повышения надежности распределительных электрических сетей.

Во второй главе произведен выбор информационных технологий для задачи повышения показателей надежности на основании рассмотренной практики применения таких технологий задачах электроэнергетического комплекса.

Рассмотренные информационные технологии, применяемые в системах электроснабжения на различных уровнях напряжения предусматривают различные направления повышения надежности, но для задачи оптимизации работ ТООиР наиболее подходят нейронные и облачные технологии.

Облачные технологии в своем изначальном смысле помогают в различных сферах деятельности оптимизировать работу за счет грамотного перераспределения информации с возможностью хранения и передачи информации из любого рабочего места за счет различных каналов связи. Установлено, что для работы такой технологии необходимы минимальные затраты в виде персонального компьютера и подключения к сети Интернет с арендой необходимого объема облачного пространства. Данная технология имеет крайне быстрое внедрение и срок окупаемости.

Рассмотрены виды облачных технологий и определен вид для решения минимальных задач по передаче, хранению и получению данных хотя бы для одного работника – система Everything as a service (EaaS), где вид данного сервиса включает в себя все необходимые для работы технологии элементы.

Использование нейронных сетей в электроэнергетическом комплексе широко себя зарекомендовали в задачах определения электрических нагрузок на перспективу. Результатами исследования работ западных и отечественных организаций отмечен ряд перспективных направлений, которые имеют уже реализованные проекты на базе данной технологии. Основной важной характеристикой технологии становится нелинейность и приспособленность к задачам, поставленным ей. Особенно в многообразии видов нейронных сетей применяются сети с многослойным персептроном, которые имеют большое количество слоев с единичными элементами-искусственными нейронами.

Для непосредственного выполнения задачи по прогнозированию выходных показателей необходимо сформировать алгоритм нейронной сети.

В третьей главе введены оценочные показатели для формирования модели будущей нейронной сети на основании трех важных принципов по отношению к единичному элементу электрической сети:

- насколько он важен в составе РУ, участка сети и сети в целом;
- насколько он ненадежен в составе РУ, участка сети и сети в целом;
- техническое состояние, зависящее от наработки на отказ, срока эксплуатации и проводимых на нем работ.

На основании изложенных принципов предложено ввести оценочные показатели, которые выражены в безмерных величинах от 0 до 100 и отражающих каждый изложенный принцип. Необходимые статистические данные необходимо собрать от электросетевых организаций и произвести необходимые преобразования. Сформированные показатели являются основополагающими при формировании алгоритма будущей нейронной сети.

Сформированы следующие понятия:

1. Индекса важности (ИВ) - отражающий уровень необходимости в электрической сети, при отказе которого будут обесточены другие элементы электрической сети. Чем меньше элементов будет обесточено при отказе данного элемента, тем значение данного показателя будет ниже.

Данный показатель имеет два вида: ИВ1 (для участка сети), ИВ 2 (для всей сети).

ИВ1_{РУ} оборудование в составе РУ:

$$ИВ1_{РУi} = \frac{N_i}{N_{РУ}} * 100, \quad (1)$$

где N_i – число присоединений отключенных, в результате отказа i -той единицы оборудования в составе РУ (шт.); $N_{РУ}$ – общее число присоединений исследуемого распределительного устройства (шт.).

ИВ1_{ЛЭП} оборудование в составе ЛЭП:

$$ИВ1_{jЛЭП} = 100 * \frac{S_j}{\sum_{j=1}^{j_{max}} S_j}, \quad (2)$$

где: S_j – максимальная передаваемая мощность j -той ЛЭП (по 4-м последним контрольным замерам) (кВА);

j_{max} – общее количество ЛЭП в зоне ответственности РЭС (шт.).

ИВ1_Т наличие связи между РУ разных классов напряжения одной ТП(РП):

$$ИВ1_T = 100/n_T, \quad (3)$$

где n_T – количество трансформаторов связи между РУ различных классов напряжения одной ТП (шт.).

ИВ2 характеризуется вероятностью возможного ущерба или ограничения нагрузок на узел, ветвь. Проводится фиксация нагрузки $Q_{огр. результат}$ (кВт) или расчет возможного ущерба $Z_{уц. результат}$ (руб.):

$$\Delta Q_{огр. сист(i)} = Q_{огр(i)} - Q_{огр. результат}; \quad (4)$$

$$\Delta Z_{уц. сист(i)} = Z_{уц(i)} - Z_{уц. результат}. \quad (5)$$

Все анализируемые элементы ранжируются, по мере снижения прироста вероятности ограничения нагрузок и/или ущерба от нарушений электроснабжения. В зависимости от результатов расчета производится

автоматическое ранжирование элементов сети, чем больше показатель важности, тем элемент выше в ранговом списке.

2. Индекса ненадежности (ИНН) - отражающий уровень возможного отказа элемента электрической сети на основании имеющихся статистических показателей и показателей надежности. Определяется совокупностью двух индексов: ИНН1 индекс самой единицы и ИНН2 показатель ненадежности схемы объекта, где оно установлено.

$ИНН1_{iEO}$ для единицы оборудования (в т.ч. тр-р):

$$ИНН1_{iEO} = ППО_i * t_{icp} / 8760, \quad (6)$$

где: t_{icp} - среднее время восстановления работоспособности электрооборудования i -того типа после аварии (технологического нарушения) (ч.);

8760 - число часов в году.

$$ППО_i = 20 * KO_i / N_i, \quad (7)$$

где: KO_i – количество отказов электрооборудования i -того типа за пятилетний период (шт.). Определяется по информации из базы данных по аварийности (оперативные журналы, отчеты и т.д.).

N_i – общее количество электрооборудования i -того типа (шт.); Определяется по последнему годовому отчету.

$$t_{icp} = \left(\frac{1}{KO_i} \right) * \sum_{j=1}^{KO_i} t_{ij}, \quad (8)$$

где: t_{ij} - время восстановления работоспособного состояния электрооборудования i -того типа после j -той аварии (технологического нарушения) (ч.).

$ИНН1_{ЛЭП}$ определяется возможностью отказа участка ЛЭП(КЛ):

$$ИНН1_{ijЛЭП} = ППО_{jЛЭП} * L_{ijЛЭП} * t_{jcp} / 8760, \quad (9)$$

где $ППО_{jЛЭП}$ – параметр потока отказов ЛЭП (КЛ); $L_{ijЛЭП}$ - протяженность i – того участка ЛЭП (КЛ) (км.); t_{jcp} – среднее время восстановления работоспособности ЛЭП (КЛ) после аварии (технологического нарушения) (ч.); 8760 – число часов в году.

В случае отсутствия конкретных данных об отказах рассматриваемых линий их параметр потока отказов принимается в соответствии с каталожными данными.

$$t_{icp} = \left(\frac{1}{KO_j} \right) * \sum_{i=1}^{KO_j} t_i; \quad (10)$$

$$ППО_{ijЛЭП} = KO_j / (NN_j * \sum_{j=1}^{NN_j} L_{ij}) / 5, \quad (11)$$

где: $KO_j = N_{jobц} - N_{jвнешн}$; $N_{jobц}$ – общее число отключений ЛЭП с неуспешными АПВ за последние пять лет (шт.); $N_{jвнешн}$ – число отключений ЛЭП типа с неуспешными АПВ за последние пять лет, обусловленных внешними воздействиями сторонних организаций и лиц (шт.); t_i – время восстановления i – той аварии ЛЭП (ч.); NN_j – количество ЛЭП (шт.).

$ИНН2_T$ рассчитывается исходя из кол-ва или групп тр-ров (для 1-фазного исполнения):

$$ИНН2_T = 100 * \beta, \quad (12)$$

где β – вероятность нахождения остальных трансформаторов в момент аварии с первым в неработоспособном состоянии определяется выражением:

$$\beta = (t_n/8760)^{(n-1)}, \quad (13)$$

где t_n - время нахождения трансформатора в отключенном состоянии в часах в течении года (ч.); n – количество трансформаторов связи между РУ различных классов напряжения одной ТП (РП) (шт.).

$ИНН2_{ЛЭП}$ определяется количествами отключений ЛЭП (ВЛ, КЛ, КВЛ):

$$ИНН2_{ЛЭП} = 100 * (N_{jобщ} - N_{jвнешн}) / \sum_{j=1}^{j_{max}} (N_{jобщ} - N_{jвнешн}), \quad (14)$$

где: $N_{jобщ}$ – количество отключений j -той ЛЭП с неуспешным АПВ за последние 5 лет (шт.); $N_{jвнешн}$ – количество отключений j -той ЛЭП с неуспешным АПВ за последние 5 лет, обусловленных внешними воздействиями (шт.);

j_{max} – общее количество ЛЭП аналогичного вида и класса напряжения с рассматриваемой (шт.).

3. Индекса технического состояния (ИТС) - отражающие реальное техническое состояние оборудования за счет применяемых технологий диагностических исследований различных видов.

Единица оборудования, для которой разрабатывается ИТС, на основании экспертных оценок, характеризуемые критерием. Формируется ряд подсистем, которые сформулированы в Приложении 1 и разделены по одной общей характеристике определяющей степень отказа оборудования при поломке одного из деталей единичного элемента электрической сети. Данные детали объединены в подсистемы. Показателем изменения состояния подсистемы является оценка критерия которые сформированы в Приложении 2. Для каждой подсистемы устанавливается набор показателей – параметров. Принцип формирования ИТС приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Принцип формирования ИТС

ИТС	Критерий			Параметр						
ИТС	=	Вес критерия 1	*	Оценка критерия	=	Вес параметра 1	*	Оценка параметра а	*	Значение параметра 1
			*		=	Вес параметра 2...n	*	Оценка параметра а	*	Значение параметра 2...n
	Вес критерия 2	*	Оценка критерия	=	Вес параметра 1	*	Оценка параметра а	*	Значение параметра 1	

В общем случае, алгоритм расчета ИТС представляет собой средневзвешенное значение всех оценок критериев. Максимальное влияние оценки критерия на итоговое значение ИТС зависит от количества критериев, их веса и определяется по формуле:

$$W = \frac{100 * W_{kki}}{\sum_i W_{kk}}, \quad (15)$$

где: W – коэффициент, учитывающий влияние критерия i на итоговый индекс технического состояния; W_{kki} - весовой коэффициент i -го критерия; W_{kk} - весовые коэффициенты всех критериев.

Для нормализации влияния результата оценки критерия на результат расчета ИТС, количество критериев должно быть установлено в диапазоне от 3

до 5 включительно. Графическое изображение влияния критериев на ИТС изображено на рисунке 1.

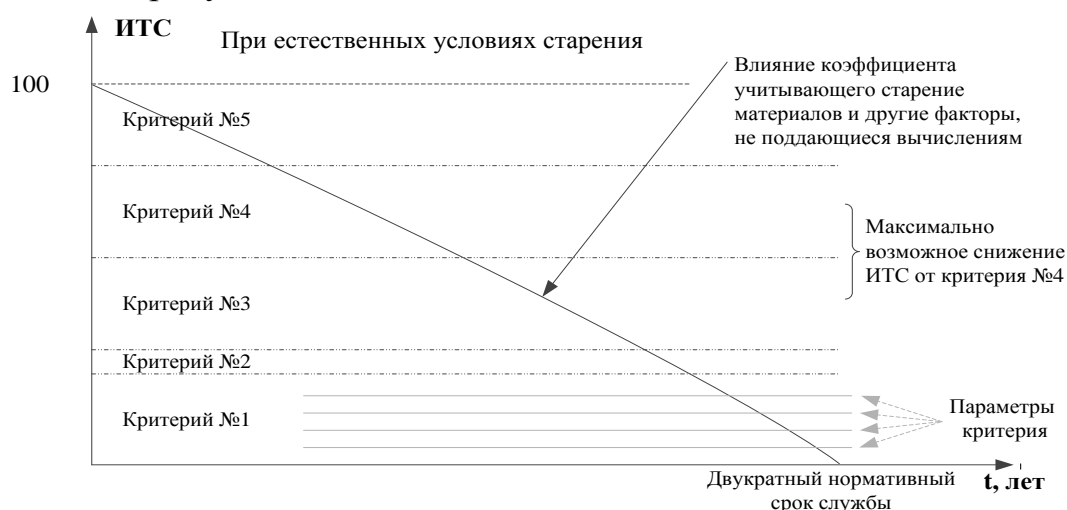


Рисунок 1 - Влияния критериев на индекс технического состояния при естественных условиях старения

ИТС возможно определить двумя способами:

Первым способом расчет индекса состояния выполняется на основе результата оценки и весового коэффициента критерия по следующей формуле:

$$ИТС = \left(\frac{\sum_{ij=1}^{ij=n} (V_{ij} \cdot W_{ij} \cdot S_{ij})}{(\sum_{ij=1}^{ij=n} (S_{ij} \cdot W_{ij}))} \right), \quad (16)$$

где: $ИТС$ - индекс технического состояния; V_{ij} - результат оценки критерия; W_{ij} - весовой коэффициент критерия; S_{ij} - значение критерия; n - количество критериев; Весовые коэффициенты представлены в Приложении 3.

Алгоритм расчета ИТС представляет собой средневзвешенное значение всех оценок критериев с учетом их веса и состоятельности данных, полученное значение допускается нормировать от 0 до 100.

Оценки критериев можно группировать между собой, используя логические или математические формулы, задавать весовые коэффициенты критериев.

Второй способ: Расчет индекса состояния выполняется на основе результата расчета индекса состояния критерия по следующей формуле:

$$ИТС = \sum (V_{ij} \cdot W_{ij}), \quad (17)$$

где: V_{ij} - результат расчета ИТС критерия; W_{ij} - весовой коэффициент критерия.

Для последующего планирования ТОиР полученное значение ИТС переводится в вид технического состояния оборудования и (или) объектов сети и на их основании предлагаются мероприятия, которые применяются в системе планово-предупредительного ремонта соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 - Таблица перевода количественной оценки технического состояния в качественную и рекомендуемые мероприятия ТООР.

Техническое состояние	Диапазон количественных значений индекса состояния	Вид ремонта
Критическое	0 – 29,99	Замена элемента/реконструкция
Неудовлетворительное	30 - 59,99	Капитальный ремонт
Удовлетворительное	60 - 74,99	Средний ремонт
Хорошее	75 - 89,99	Текущий ремонт
Очень хорошее	90 - 100	Межремонтные мероприятия

Для проведения ранжирования порядка включения в план ТО и Р единиц оборудования ТП и участков ВЛ (КЛ) необходимо сформировать математическую модель (18) по определению итогового показателя ИП, в которой используется следующая информация:

1. Индекс важности единицы оборудования в составе участка сети (ИБ1);
2. Индекс важности объекта в составе сети (ИБ2);
3. Индекс ненадежности единицы оборудования составе участка сети (ИНН1);
4. Индекс ненадежности объекта в составе сети (ИНН2);
5. Индекс технического состояния (ИТС) для единицы оборудования;

Итоговый показатель (ИП) определяется путем перемножения индексов важности ИБ1, ИБ2 на индексы ненадежности ИНН1, ИНН2 и на «условный индекс выработки ресурса» (100 – ИТС), т.е.

$$ИП = ИБ1 * ИБ2 * ИНН1 * ИНН2 * (100 - ИТС). \quad (18)$$

На основании полученного показателя ИП, формируется достаточно полная информация о наиболее изношенных и важных элементах электрической сети, которые позволят сформировать упорядоченный график будущих работ ТООР.

Ранжирование порядка включения в план ТООР элементов электрической сети осуществляется по ИП, т.е. чем больше значение общего показателя надежности, тем выше находится строка, описывающая элемент электрической сети, тем больше значимость данного оборудования с точки зрения включения в ремонтную программу или программу реконструкции.

В четвертой главе определена архитектура будущей нейронной сети и сформирована ее модель и алгоритм на базе программного комплекса MATLAB R2013b Simulink.

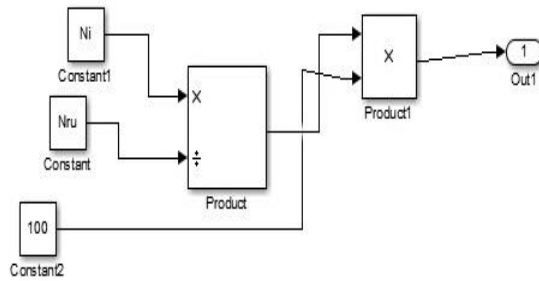
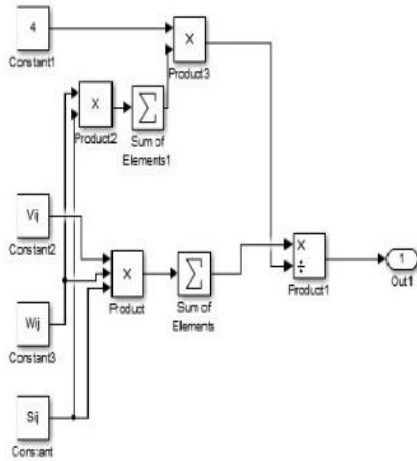
Рассмотрев наиболее перспективные виды построения архитектуры нейронных сетей определено, что для задач прогнозирования показателей надежности наиболее подходят сети с функцией обратной связи. В процессе построения такой сети применяется алгоритм обратного распространения ошибки, что позволяет минимизировать среднеквадратичное отклонение текущего выхода от желаемого выхода в многослойных нейронных сетях.

На рисунке 2 сформирована структурная схема нейронной сети.



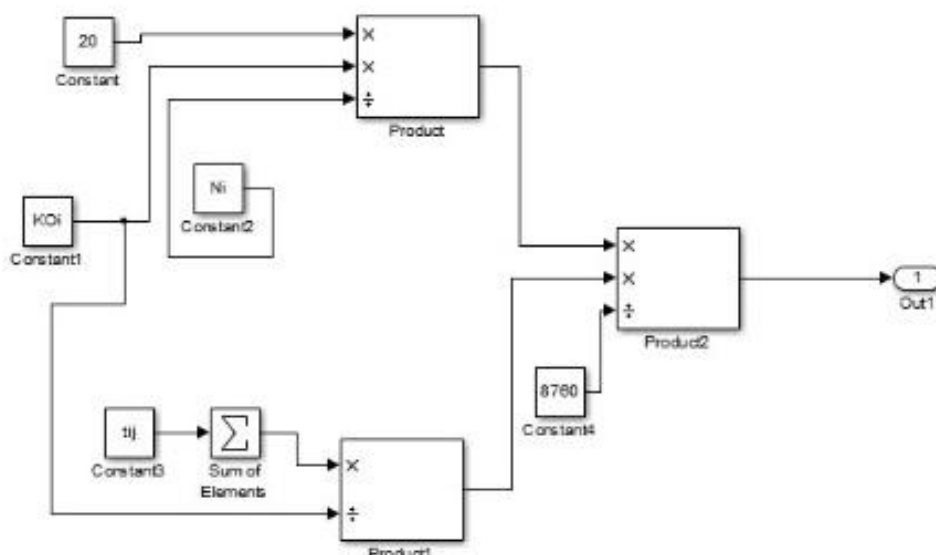
Рисунок 2 – Структурная схема нейронной сети

Также сформированы модели оценочных показателей ИТС (рисунок 3а), ИВ (рисунок 3б), ИИН (рисунок 3в).



а

б



В

Рисунок 3 – Модель оценочных показателей (а-ИТС, б-ИВ, в-ИНН)

Результатом сформированных моделей ИВ, ИНН и ИТС становится итоговая модель ИП, представленная на рисунке 4 на основании выражения (18), и получается итоговое значение, которое используется при ранжировании элементов электрической сети, которые нуждающихся в мероприятиях ТОиР.

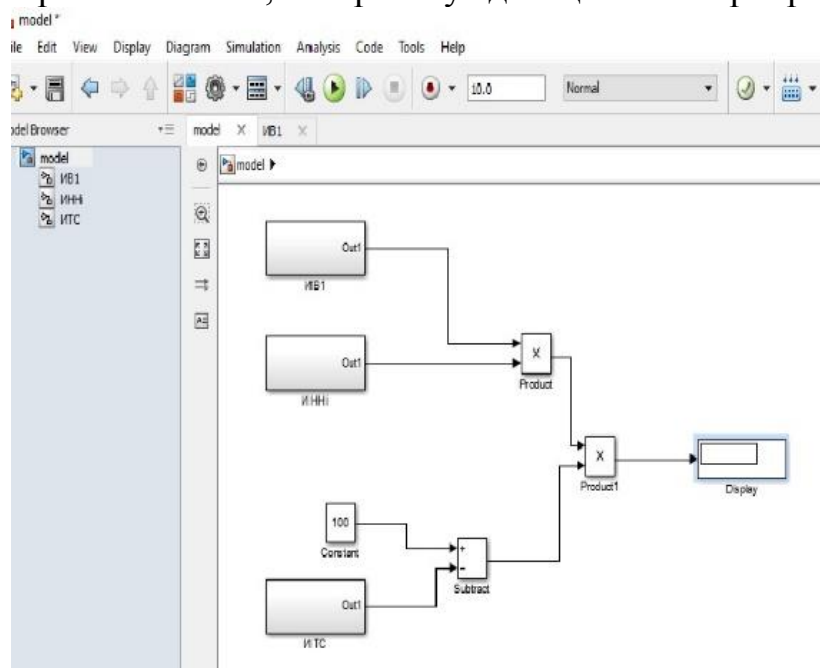


Рисунок 4 - Полная модель нейронной сети с показателями ИВ, ИНН, ИТС

В приложении 4 диссертационной работы представлено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023616934 «Прогнозирование оценочных показателей надежности электрооборудования» от 04.04.2023 г.

Для написания алгоритма нейронной сети выбран язык программирования Python, который имеет ряд преимуществ: его простота логических выражений и возможности написанного кода переноса на

различные программные комплексы, которые применяются в задачах анализа и прогнозирования различных показателей.

Все сформированные данные, которые используются для определения показателей ИВ, ИНН, ИТС сводятся в единую базу сформированная на платформе MS Excel, которые собраны за отчетный период с 2016 по 2018 г.г. и проводят прогноз на краткосрочный период в 180 дней. Формируется обучающая выборка, которая, получая входные данные, производит тренировку, чтобы уменьшить ошибки при будущем прогнозировании.

Результатом становятся предсказанные значения ИВ, ИНН, ИТС и ИП. Полученные данные утверждаются экспертом, который проводит сравнение спрогнозированных показателей, проводит ранжирование элементов электрической сети, устанавливает необходимое техническое мероприятие и утверждает сроки его проведения согласно его рангу и штатному расписанию.

Получая новые показатели, важно пополнять «базу данных» входных показателей и тем самым повысить точность прогнозирования ее выходных данных.

В пятой главе применена методика прогнозирования работ по ТОиР с учетом оценки показателей надежности, полученных с помощью нейронных сетей, выполнена оценка экономического эффекта от применения методики и оценка эффективности примененной стратегии повышения надежности электрических сетей.

Для прогнозирования показателей надежности выбрана часть Балашихинской распределительной электрической сети, которая имеет в своем составе одного сельскохозяйственного потребителя второй категории от ТП-1064. На представленной оперативной схеме отражены элементы сети 10 кВ и отмечены нормальные (штатные) положения коммутационных аппаратов по состоянию на конец 2018 года. (рис. 5)

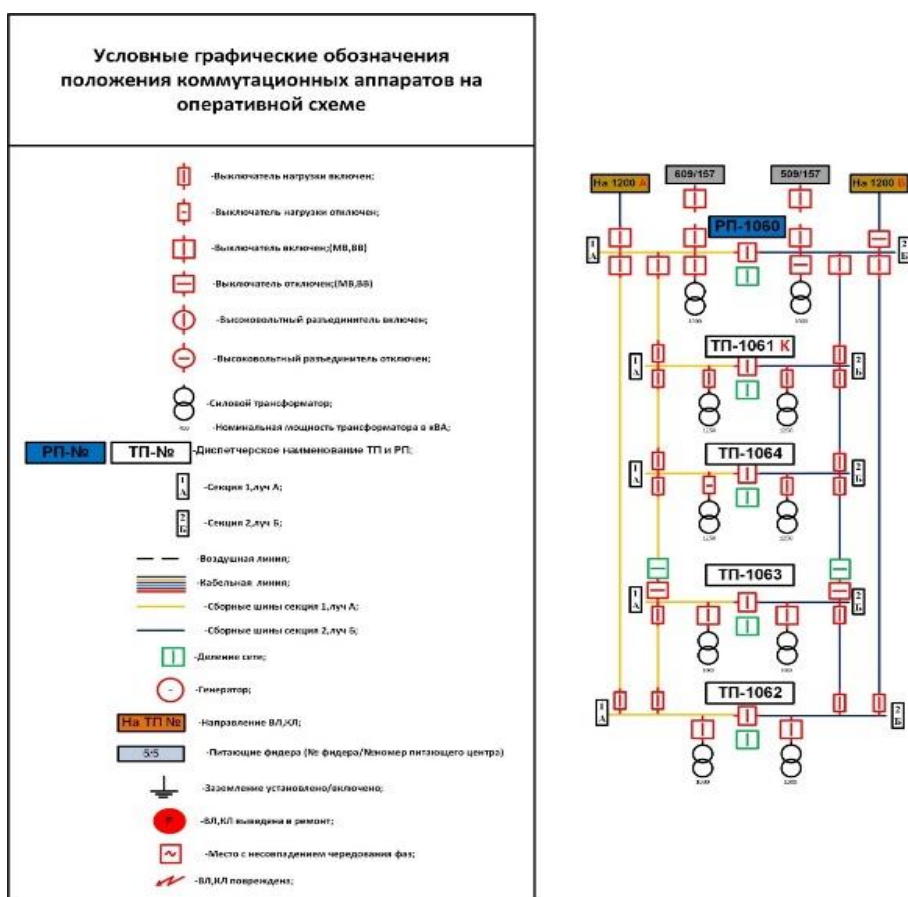


Рисунок 5 - Часть оперативной схемы Балашихинской электрической сети

Сетевая организация представила необходимые входные показатели участвующие в работе нейронной сети, полученные в результате исследований оперативной схемы, однолинейных схем, поопорных схем, годовых отчетов и диагностических показателей. На данном участке электрической сети, по плану за 2019 год планируется отремонтировать девять различных элементов данного участка электрической сети. Задача нейронной сети по полученным данным, оценить правильность формирования перечня запланированных работ по ТОиР для данных элементов электрической сети за март-ноябрь 2019 года (таблица 3).

Таблица 3 - Запланированные мероприятия ТОиР в 2019 г.

№	Элемент СЭС	Проводимый ремонт	Планируемое время проведения ремонта
1	РП-1060 СШ 10 кВ сек.2	КР	Апрель
2	ТП-1061 ВН Т-1	СР	1/Май
3	ТП-1061 ВН Т-2	СР	2/Май
4	РП-1060 Т-2	МРМ	1/Июль
5	ТП-1063 ВВ КЛ ТП1063А-ТП1064А	ТР	1/Август
6	ТП-1063 ВВ КЛ ТП1063Б-ТП1064Б	ТР	2/Август
7	ТП-1064 ВН Т-1	КР	2/Июль

Далее произведены расчеты ИВ1, ИВ2, ИНН1, ИНН2, ИТС согласно предложенной методики сформирована таблица с расчетными показателями, предложенными видами работ по ТОиР и в результате проведено ранжирования порядка работ (таблица 4).

Таблица 4 - Показатели надежности и ранжирование работ по ТОиР

№	Элемент СЭС	ИВ1	ИВ2	ИНН1	ИНН2	ИТС	ИП	Порядковый номер (нов/стар)	Вид ремонта (нов/стар)
1	РП-1060 СШ 10 кВ сек.2	94	10	0,0009	80	88,9	751	3/1	ТР/СР
2	ТП-1061 ВН Т-1	5,71	38	0,0002	33	61,2	56	7/2	СР/СР
3	ТП-1061 ВН Т-2	5,71	63	0,0002	33	52,2	113	6/3	КР/СР
4	РП-1060 Т-2	50	71	0,031	1,42	96,9	484	4/4	МРМ/МРМ
5	ТП-1063 ВВ КЛ ТП1063А-ТП1064А	31,42	10	0,0022	33	91,9	184	5/6	МРМ/ТР
6	ТП-1063 ВВ КЛ ТП1063Б-ТП1064Б	31,42	18	0,013	33	95,1	1188	1/7	МРМ/МРМ
7	ТП-1064 ВН Т-1	5,71	54	0,0022	33	62,2	846	2/5	СР/КР

На основании проведенного исследования, разработанной методики краткосрочного прогнозирования получены акты внедрения результатов диссертационной работы в ЗАО «Электросетьэксплуатация» и МИЭЭ, представленные в Приложениях 5,6.

В процессе расчетов выявлено, что для части оборудования возможно изменения меры ТОиР, ввиду его недостаточного износа. Так же для одного элемента, необходимо провести более глубокую работу и изменить вид ТОиР в связи с большим его износом. Чтобы оценить экономический эффект, предлагается провести технико-экономическое сравнение двух перечней работ ТОиР, которые отражены в таблице 5.

Таблица 5 – Экономические затраты на ремонт в 2019 г.

№	Вид оборудования	Вид ремонта (предложенные/планируемые)		Затраты на единицу оборудования (тыс.руб.) для проведения работ	
				Предложенные	Планируемые
1	РП-1060 СШ 10 кВ сек.2	ТР	СР	14-25	35-50
2	ТП-1061 ВН Т-1	СР	СР	8-15	8-15
3	ТП-1061 ВН Т-2	КР	СР	20-25	8-15
4	РП-1060 Т-2	МРМ	МРМ	15-20	15-20
5	ТП-1063 ВВ КЛ ТП1063А-ТП1064А	МРМ	ТР	12-18	20-25
6	ТП-1063 ВВ КЛ ТП1063Б-ТП1064Б	МРМ	МРМ	12-18	12-18
7	ТП-1064 ВН Т-1	СР	КР	8-15	20-25
Итоговая сумма проведения работ				89-136	118-168
Разница между новыми и старыми видами				29-32	

По результатам проведенного расчета определено, что экономический эффект от предложенного алгоритма построения системы ТОиР дает возможность снизить издержки. Для расчетного участка Балашихинских электрических сетей в 2019 году экономия может составить от 29 до 32 тыс.

рублей. Подобных участков в данной электрической сети около 60 и возможно предположить, что данная система позволит снизить издержки в год от 1,5 до 2,5 млн. руб.

Чтобы дать оценку построенной нейронной сети, проведено прогнозирование оценочных показателей для данных элементов электрической сети основываясь на имеющихся данных оценочных показателей до и после проведенных регламентных работ. Установлено, что планируется проведение работ на каждом элементе согласно установленным на сегодняшний день нормативами системы ППР, а именно:

- 1) РП-1060 СШ 10 кВ сек.2 по плану КР 04-08 2023 г.
- 2) ТП-1061 ВН Т-1 по плану КР 04-08 2023 г.
- 3) ТП-1061 ВН Т-2 по плану КР 04-08 2023 г.
- 4) РП-1060 Т-2 по плану ТР 04-08 2021 г.
- 5) ТП-1063 ВВ КЛ ТП1063А-ТП1064А по плану СР 04-08 2022 г.
- 6) ТП-1063 ВВ КЛ ТП1063Б-ТП1064Б по плану КР 04-08. 2022 г.
- 7) ТП-1064 ВН Т-1 по плану МРМ 04-08 2021 г.

Полученные прогнозируемые показатели занесены в таблицу 6 и определены виды будущих работ.

Таблица 6 – Прогнозируемые оценочные показатели на момент планируемого проведение работ согласно графику ППР проведения работ по ТОиР

№	Вид оборудования	Прогнозируемые показатели надежности					Вид ТОиР (план/прогноз)
		ИВ1	ИВ2	ИНН1	ИНН2	ИТС	
1	РП-1060 СШ 10 кВ сек.2	94	10	0,0009	80	90,2	КР/МРМ
2	ТП-1061 ВН Т-1	5,71	38	0,0002	33	81,5	КР/ТР
3	ТП-1061 ВН Т-2	5,71	63	0,0002	33	75,1	КР/СР
4	РП-1060 Т-2	50	71	0,031	1,42	97,6	ТР/МРМ
5	ТП-1063 ВВ КЛ ТП1063А-ТП1064А	31,42	10	0,0022	33	92,4	СР/МРМ
6	ТП-1063 ВВ КЛ ТП1063Б-ТП1064Б	31,42	18	0,013	33	97,1	КР/МРМ
7	ТП-1064 ВН Т-1	5,71	54	0,0022	33	75,1	МРМ/СР

Итогом проведенного прогнозирования становятся предложения по корректировке видов предлагаемых ремонтных мероприятий, основываясь на уже полученных данных о техническом состоянии оборудования. Становится очевидным, что действующая система ППР, допускает ошибки в установлении правильного выбора видов мероприятий ТОиР.

Для того, чтобы более качественно оценить перспективу такого направления повышения надежности электрических сетей, необходимо провести теоретическое сравнение с другими направлениями, которые комплексно повышают надежность и электробезопасность электрических сетей.

Существуют следующие стратегии:

- Стратегия ϕ_1 -состояние СЭС без преобразований (существующая сеть);
- Стратегия ϕ_2 -применение ВЛЗ, СИП;

- Стратегия φ_3 -резервирование и секционирование;
- Стратегия φ_4 -повышение уровня напряжения;

На основании изученных источников научных трудов и монографий приводятся исследования для РЭС Борисоглебский, за расчетный период с 2011 по 2020 гг. на основании обработанных экспертных данных рассчитаны показатели и приведена оценка каждой из предложенных стратегий. Данная электрическая сеть имеет схожие параметры с Балашихинскими распределительными электрическими сетями, как по численному составу, так и по эксплуатируемым элементам.

Оценка критерия общего травматизма сводится к получению коэффициента частоты общего травматизма:

$$K_{травм} \begin{matrix} \varphi_1 & \varphi_2 & \varphi_3 & \varphi_4 \\ 0,77 & 0,25 & 0,77 & 0,385 \end{matrix}$$

Оценка критерия износа сводится к получению коэффициента износа:

$$K_{износа} \begin{matrix} \varphi_1 & \varphi_2 & \varphi_3 & \varphi_4 \\ 0,99 & 0,5 & 0,99 & 0,33 \end{matrix}$$

Оценка надежности электроснабжения состоит в подсчете недоотпуска электрической энергии в кВт*ч:

$$W_H * 10^5 \begin{matrix} \varphi_1 & \varphi_2 & \varphi_3 & \varphi_4 \\ 11,98 & 3,99 & 5,45 & 5,84 \end{matrix}$$

Оценка технико-экономических затрат оценивается в подсчете дисконтированных затрат (вложения и издержки) млн. руб.:

$$Z_d \begin{matrix} \varphi_1 & \varphi_2 & \varphi_3 & \varphi_4 \\ 220,122 & 740,653 & 321,174 & 2119,117 \end{matrix}$$

В результате диссертационного исследования и предложенной в ней методики, сформировалась стратегия способная повысить общий уровень надежности распределительных электрических сетей φ_5 . Необходимо произвести сравнение применённой стратегии на участке Балашихинских распределительных сетей, которые по своему объему оборудования, уровням напряжения и категории потребителей имеют почти равные показатели на основании прошлых исследований, поэтому данные показатели возможно сравнить с частными критериями уже оцененных стратегий.

Корректировку данных, необходимо произвести на основании того, что для Балашихинских электрических сетей частные критерии будут получены только за один год и привести данные показатели к 10-летнему сроку эксплуатации.

Таблица 7 - Частные критерии оценки стратегий развития

	$K_{травм}$	$K_{износа}$	$W_H * 10^5, кВт*ч$	$Z_d, млн. руб$
φ_1	0,77	0,99	11,98	220,122
φ_2	0,25	0,5	3,99	740,653
φ_3	0,77	0,99	5,45	321,174
φ_4	0,385	0,33	5,84	2119,117
φ_5	0,65	0,99	7,17	70,9

Согласно проведенным расчетам, сформирована оценочная таблица 7, которая проводит сравнение стратегии φ_5 с уже имеющимся опытом применения стратегий на Борисоглебской РЭС.

По результатам сравнения стратегий, примененных в различных распределительных электрических сетях, можно сделать вывод о целесообразном применении стратегии φ_5 , которая позволит снизить травматизм и общее значение недоотпущенной электрической энергии. Дисконтированные затраты на использование предложенной методики имеют наименьшее значение, по сравнению с другими стратегиями.

Заключение

В результате работы получены и защищаются следующие результаты:

1. На основе полученных в результате исследования статистических данных о повреждениях и технологических нарушениях в Балашихинских распределительных электрических сетях за 2016-2018 год установлено, что уровень надежности потребителей второй категории не соответствует нормативным требованиям т.к. частота отказов ω превышает допустимые значения ($\omega_{II}(\tau \leq 4) = 2,3$ отказа в год, 9,2 часа/год, $\omega_{III}(\tau \leq 24) = 3$ отказа в год, 72 часа/год.) поэтому необходимо проведение мероприятий и внедрение средств для ее повышения. Экономические потери от недоотпуска электрической энергии и затраты на аварийно-восстановительные работы составляют более 5 млн. руб., что составляет 2-4% от суммы транспорта электроэнергии, а ущерб сельскохозяйственным потребителям составляет более 15 млн. руб., что оценивается от 5 до 20% от общего ущерба, нанесенного всем потребителям.
2. Результатом исследования опыта применения информационных технологий для задач повышения надежности в распределительных электрических сетях стало предложение по использованию облачных и нейронных технологий, которые возможно применить в кратчайшие сроки с минимальными затратами. Перспективным направлением является разработка нейронной сети, способная прогнозировать необходимые показатели электрической сети.
3. Предложены оценочные показатели, которые учитывают важность, ненадежность и реальный уровень надежности элементов электрической сети. На основании оценочных показателей сформирована математическая модель, которая позволяет проводить ранжирование порядка включения в план ТОиР элементов сети и использовать систему планово-предупредительных ремонтов наиболее качественно. Такой подход позволит повысить надежность электрических сетей на перспективу.
4. На основании предложенной математической модели разработан инженерный и языковой алгоритм краткосрочного прогнозирования показателей надежности электрических сетей с использованием математического аппарата нейронных сетей.
5. Применение нейронной сети для прогнозирования оценочных показателей надежности части Балашихинских электрических сетей показал,

что планируемые мероприятия по ТОиР на 2020 г. требуют корректировки. Порядок проведения работ должен учитывать важность элементов сети. Для части элементов необходимо изменить вид мероприятий ТОиР с учетом уровня надежности и проводимых ранее мероприятий.

6. Экономический эффект от предложенных изменений в системе ППР позволяет снизить затраты на ремонтные работы и в перспективе уменьшить издержки от недоотпуска электрической энергии, аварийных работ и ущерба, наносимого потребителям. В результате сравнения эффективности, разработанной и практикуемых стратегий повышения надежности в распределительных электрических сетях установлено, что предложенная стратегия целесообразна и в своей перспективе позволит снизить общее значение недоотпущенной электроэнергии.

Перспективы дальнейшей разработки темы исследования и рекомендации:

Планируется дальнейшее исследование предложенного способа повышения надежности на базе Балашихинских распределительных сетей в ЗАО «Электросетьэксплуатация» за счет расширения количества эксплуатируемого оборудования. Предполагается произвести уточнение предложенных оценочных показателей в зависимости от изменяющихся климатических условий и загруженности оборудования (в случае отказа других элементов, которые еще не подвергались необходимым мероприятиям включения их в новую систему ранжирования).

Основные публикации автора по теме исследования

Статьи в изданиях, определенных перечнем ВАК

- 1) Тишков, В.В. Формирование информационно-диспетчерских систем с применением облачных технологий в области распределительных электрических сетей / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская // Международный технико-экономический журнал. 2020.- № 1. – С. 43-49, 0,37 п.л. (авт. 0,34 п.л.)
- 2) Тишков, В.В. Анализ экономических потерь от повреждений в распределительных электрических сетях с сельскохозяйственными потребителями / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская, М.М. Галкин // Международный технико-экономический журнал, - 2020. - № 2. - С. 49-55, 0,37 п.л. (авт. 0,32 п.л.)
- 3) Тишков, В.В. Повышение уровня надежности распределительных сельских электрических сетей / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская, А.А. Груба // Международный технико-экономический журнал, - 2020. - № 4., С. 94-100, 0,37 п.л. (авт. 0, 31 п.л.)

Статьи в изданиях, проиндексированных перечнем Scopus

- 1) Тишков, В.В. Forecasting Repair Works in Power Distribution Grids / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская. А.Ю. Алипичев, М.М. Галкин// Published in: 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). - 2020. - 6 с. 0,37 п.л. (авт .0,32)

В других изданиях

- 1) Тишков, В.В. Повышение эффективности эксплуатации кабельных линий 6-10 кВ в системах электроснабжения / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская // Доклады ТСХА: Сборник статей. Выпуск 291. Ч. II. М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2020. – с. 294-297., 0,31 п.л. (авт. 0,3 п.л.)
- 2) Тишков, В.В. Нейронные сети в системах электроснабжения / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская // Доклады ТСХА: Сборник статей. Выпуск 291. Ч. II. М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2020. – с. 297-300., 0,18 п.л. (авт. 0,15 п.л.)
- 3) Тишков, В.В. Каналы связи для организации диспетчерского управления с применением облачных технологий / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения В.П. Горячкина, М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2018. – с. 220-223., 0,18 п.л. (авт. 0,15 п.л.)
- 4) Тишков, В.В. Increasing the reliability of rural electrical networks / В.В. Тишков, А.Ю. Алипичев // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения В.П. Горячкина, М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2018. – с. 352-354., 0,12 п.л. (авт. 0,11 п.л.)
- 5) Тишков, В.В. Decreasing losses in electrical networks / Тишков В.В., Алипичев А.Ю. // Наука без границ и языковых барьеров: материалы международной научно-практической конференции 19 апреля 2019 года. – Орел: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2019. – с. 254-259., 0,25 п.л. (авт. 0,22 п.л.)
- 6) Тишков, В.В. Прогнозирование узловых электрических нагрузок / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию А.В. Леонтовича, г. Москва, 3-6 июня 2019 г.: Сборник статей. / М. – Издательство РГАУ-МСХА, 2019. – с. 474-478., 0,25 п.л. (авт. 0,22 п.л.)
- 7) Тишков, В.В. Оптимизация работы оперативно-диспетчерской службы / В.В. Тишков, Е.В. Гурнина // Новые технологии науки, техники, педагогики высшей школы: материалы Международной научно-практической конференции «Наука – Общество – Технологии – 2017» (Россия, Москва, 29–31 мая 2017 года). – Москва: Московский Политех, 2017. – с. 442-447., 0,25 п.л. (авт. 0,2 п.л.)
- 8) Тишков, В.В. Анализ основных повреждений электрооборудования в Балашихинских электрических сетях за 2013-2016 год / В.В. Тишков, Е.В. Гурнина // «Научное сообщество студентов. Междисциплинарные исследования»: Электронный сборник статей по материалам XXII студенческой международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд. АНС «СибАК». – 2017. – № 11 (22) – с. 455-460., 0,31 п.л. (авт. 0,25 п.л.)
- 9) Тишков, В.В. Анализ экономических потерь от простоев электрооборудования в Балашихинских электрических сетях за 2013-2016 год / В.В. Тишков, Е.В. Гурнина // «Наука XXI века: проблемы и перспективы». Материалы V международной научно-практической конференции (Уфа, 29-30 мая 2017 г.) – с. 68-72., 0,25 п.л. (авт. 0,21 п.л.)

- 10) Тишков, В.В. Внедрение облачных технологий в системы электроснабжения / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская // Доклады ТСХА. Выпуск 290 (Часть II) М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2018. – с. 198-200., 0,12 п.л. (авт. 0,11 п.л.)
- 11) Тишков, В.В. Математическая модель надежности высоковольтного автоматического выключателя / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская // Доклады ТСХА. Выпуск 292 (Часть I) М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2020. – с. 156-160., 0,25 п.л. (авт. 0,21 п.л.)
- 12) Тишков, В.В. Повышение эффективности эксплуатации кабельных линий 6-10 кВ в системах электроснабжения / В.В. Тишков, Т.Б. Лещинская // Доклады ТСХА. Выпуск 291 (Часть II) М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2019. – с. 297-299., 0,12 п.л. (авт. 0,1 п.л.)
- 13) Тишков, В.В. Нейронная сеть как инструмент для решения задач в сельских распределительных электрических сетях / В.В. Тишков, С.И. Белов // Современная наука как фактор и ресурс передового развития: сборник статей Международной научно-практической конференции (Петрозаводск, 18 сентября 2023 г.) – с. 144-148., 0,25 п.л. (авт. 0,21 п.л.)

Свидетельства

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU №2023616934. Российская Федерация Программа для прогнозирования оценочных показателей надежности электрооборудования, заяв. №2023615739 от 27.03.2023, опубл. 04.04.2023 / Тишков В.В., Цедяков А.А.