

Лопатин Евгений Игоревич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА-
ПРЯЖЕНИЕМ 0,38...10 кВ
(НА ПРИМЕРЕ РЯЗАНСКОГО РЕГИОНА)**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве (по техническим наукам)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва - 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рязанский государственный агро-технологический университет имени П.А. Костычева»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Васильева Татьяна Николаевна

Официальные оппоненты:

Копылов Сергей Игоревич,
доктор технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный заочный университет», профессор кафедры «Электротехники и автоматики»

Олин Дмитрий Михайлович
кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», доцент кафедры «Электроснабжение»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина».

Защита состоится « 18 » апреля 2012 года на заседании диссертационного совета Д220.056.03 при Российском государственном аграрном заочном университете по адресу: 143900 Московская область, г. Балашиха, ул. Юлиуса Фучика, д.1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета ФГБОУ ВПО РГАЗУ, и на сайте: www.rgazu.ru.

Автореферат разослан « 15 » марта 2012 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент

Мохова О.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Система электроснабжения сельскохозяйственных потребителей напряжением 0,38...10 кВ характеризуется низкими показателями надежности и значительным недоотпуском электроэнергии присоединенным потребителям. Продолжительность перерывов в электроснабжении по Рязанской области составляет 90 – 130 часов в год. Это обусловлено высоким износом оборудования трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, значительной протяженностью воздушных линий электропередачи напряжением 0,38...10 кВ, выполненных неизолированными проводами, эксплуатацией несовершенных коммутационных аппаратов, радиальным, в основном, принципом построения электрических схем.

Электрическое хозяйство Российской Федерации включает воздушные линии электропередачи напряжением 0,38...110 кВ протяженностью свыше 2,5 млн. км и трансформаторных подстанций 6...110 кВ суммарной мощностью свыше 300 МВА. Из них электрические сети сельскохозяйственного назначения напряжением 0,38...110 кВ общей протяженностью около 2,3 млн. км, напряжением 6...10 кВ – около 1,2 млн. км, напряжением 0,38 кВ – свыше 800 тысяч километров. В Рязанском регионе эксплуатируется свыше 33 тысяч км линий электропередачи напряжением 0,38-10 кВ и около 8,5 тысяч распределительных и трансформаторных пунктов. Из общего числа отказов электрооборудования электрических сетей всех уровней напряжения на электрооборудование напряжением 0,38...10 кВ приходится до 70-75% отказов.

Огромный вклад в развитие теории надежности внесли Гук Ю.Б., Будзко И.А., Гнеденко Б.В., Левин М.С., Лещинская Т.Б., Васильева Т.Н., Копылов С.И., Воробьев В.А., Сырых Н.Н., Рыбаков Л.М. и другие. Вместе с тем, существующие методы оценки технического состояния электрических распределительных сетей учитывают параметры вне их связи с природно-климатическими факторами, условиями эксплуатации, квалификацией персонала.

Важное значение приобретает прогнозирование надежности и технического состояния электрических распределительных сетей 0,38-10 кВ сельскохозяйственного назначения. Для сокращения числа отказов и повышения надежности системы электроснабжения в целом, наиболее целесообразным является совершенствование системы технического обслуживания электрооборудования, так как полная модернизация и замена электрооборудования новым потребует крупных единовременных капиталовложений. Поэтому вопросы повышения надежности системы электроснабжения за счет совершенствования комплекса средств по техническому обслуживанию электрооборудования являются актуальными.

Цель работы – совершенствование системы технического состояния электрооборудования для повышения надежности сельских электрических распределительных сетей напряжением 0,38-10 кВ с учетом влияния природно-климатических факторов.

Объектом исследования является силовое электрооборудование сельских распределительных сетей напряжением 0,38...10 кВ.

Предметом исследования является математическая модель оценки и совершенствования технического состояния электрооборудования сельских распределительных сетей напряжением 0,38...10 кВ.

Задачи исследования:

1. Анализ методов оценки технического состояния электрооборудования, классификация причин его отказов на основе статистической обработки данных в сельских электрических распределительных сетях напряжением 0,38...10 кВ Рязанского региона;

2. Определение законов распределения аварийных отказов электрооборудования;

3. Теоретическое обоснование и аналитическое исследование влияния природно-климатических факторов на количество отказов электрооборудования воздушных линий электропередачи напряжением 0,38...10 кВ;

4. Формирование методики и разработка математической модели оценки эффективности комплекса средств повышения надежности электроснабжения на основе теории массового обслуживания;

5. Имитационное моделирование надежности электроснабжения потребителей напряжением 0,38..10 кВ с помощью системы оценки эффективности комплекса средств по техническому обслуживанию электрооборудования.

Методы исследования. Исследование базируется на теории надежности, методов математического моделирования, математической статистики, корреляционно – регрессионного анализа, теории массового обслуживания. Расчеты проведены с помощью пакетов прикладных программ Statistica 6.0 корпорации STATSOFT, SYSTAT 11.00.01 корпорации SYSTAT, математический модуль Mahtcad 2001 pro. Численные результаты получены с использованием разработанного на языке программирования Delphi программного обеспечения.

Новизна работы заключается в следующем:

1. Определении степени влияния основных факторов на техническое состояние силового электрооборудования сельских распределительных сетей напряжением 0,38-10 кВ;

2. Построении математической модели на основе корреляционно – регрессионного анализа, устанавливающей зависимость между природно-климатическими факторами, действиями обслуживающего персонала и отказами электрооборудования;

3. Создании с применением системы массового обслуживания математической модели оценки влияния каждого из рассматриваемых средств на повышение надежности электроснабжения;

4. Разработке методики, алгоритма и программного обеспечения «Эксперт 1.0» для оценки эффективности комплекса средств по техническому обслуживанию электрооборудования.

Достоверность разработанных научных положений, методик, сделанных выводов и рекомендаций обеспечивается корректным применением современных методов исследования; использованием методов математической статистики, представительным объемом статистического материала; совпадением результатов, полученных для моделей и реальных электрических сетей Рязанского региона.

На защиту диссертации выносятся следующие положения:

1. Обоснование разнообразия закономерностей распределения причин отказов по дням электрооборудования сельских распределительных электрических сетей напряжением 0,38...10 кВ;

2. Разработка математической модели оценки влияния природно - климатических факторов на отказы электрооборудования для формирования комплекса средств по техническому обслуживанию электрооборудования;

3. Метод оценки влияния природно-климатических факторов, его учет при планировании комплекса средств по техническому обслуживанию электрооборудования для повышения надежности системы электроснабжения;

4. Выбор эффективной систем технического обслуживания электрооборудования сельских распределительных электрических сетей за счет оптимальной стратегии проведения ремонтных работ, определения количества специальной техники и эксплуатационного персонала, обеспечения ремонтных подразделений запасными частями и оборудованием.

Практическую значимость представляет методика оценки технического состояния и повышения эффективности сельских распределительных электрических сетей, реализованная в программном обеспечении «Эксперт 1.0», написанного на языке Delphi версии 7.0 фирмы Borland, позволяющая предприятиям электрических сетей обеспечивать нормируемый уровень надежности электроснабжения у потребителей за счет внедрения рекомендуемого комплекса средств по техническому обслуживанию электрооборудования.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы приняты к реализации на:

- ОАО МРСК «Центра и Приволжья» филиал «Рязаньэнерго» производственное объединение «Сасовские электрические сети» «Пителенский РРЭС», что подтверждается актом внедрения 24.05.2011 года;

- ОАО МРСК «Центра и Приволжья» филиал «Рязаньэнерго» производственное объединение «Рязанские электрические сети» «Рыбновский РРЭС», что подтверждается актом внедрения 06.06.2011 года;

- ОАО МРСК «Центра и Приволжья» филиал «Рязаньэнерго» производственное объединение «Рязанские электрические сети» «Пронский РРЭС», что подтверждается актом внедрения 14.10.2011 года.

- ОАО МРСК «Центра и Приволжья» филиал «Рязаньэнерго» производственное объединение «Рязанские электрические сети» «Михайловский РЭС», что подтверждается актом внедрения 12.12.2011 года;

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы представлялись на международной научно - практической кон-

ференции в г. Москве (ГНУ ВНИИМ, 2010 г.), научно - практической конференции г. Троицк (ФГОУ ВПО УГАВМ, 2009 г.), научно - практической конференции г. Мичуринске (ФГОУ ВПО МичГАУ, 2011 г.), международных научно - практических конференциях и семинарах в г. Рязани (ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2009 - 2011 г.), третьем этапе Всероссийской научно - практической конференции в г. Саратове (ФГОУ ВПО СГАУ, 2011 г.), а также на семинарах по повышению квалификации и обучению эксплуатационного персонала ОАО МРСК «Центра и Приволжья» филиал «Рязаньэнерго».

Личный вклад автора. Разработка математической модели оценки и совершенствования технического состояния электрооборудования сельских распределительных сетей напряжением 0,38...10 кВ, формирование на ее основе методики, построение алгоритма и создание программного обеспечения «Эксперт 1.0», апробирование результатов исследования, внедрение разработок в практику и подготовка основных публикаций по научной работе.

Публикации. Научные положения, полученные автором, опубликованы в 12 изданиях, из них 3 - по перечню ВАК.

Структура диссертации и ее объем. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем работы составляет 274 страницы. Основная часть состоит из 163 страницы, включает 68 таблицы и 67 рисунков. Библиографический список содержит 125 наименований. Приложение составляет 120 страниц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, излагаются положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Анализ средств и методов повышения надежности системы электроснабжения» выполнен анализ существующих методов оценки технического состояния электрооборудования. Рассмотрено современное состояние системы электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и коммунально - бытовых потребителей распределительных сетей напряжением 0,38...10 кВ. При этом обоснована необходимость повышения надежности системы электроснабжения и совершенствования системы технического обслуживания электрооборудования.

Система технического обслуживания включает в себя комплекс средств:

- 1) повышение требований к эксплуатационному персоналу, к производственной дисциплине и росту квалификации;
- 2) рациональная организация текущих и капитальных ремонтов;
- 3) механизация ремонтных работ;
- 4) обеспечение аварийных запасов материалов и оборудования;
- 5) совершенствование методов и сокращение времени поиска отказов электрооборудования;
- 6) проведение работ под напряжением.

Применение комплекса средств технического обслуживания позволит поддержать работоспособное состояние изношенного электрооборудования,

поскольку его полная модернизация потребует значительных единовременных капиталовложений, что в данное время для энергоснабжающих компаний не представляется возможным.

Кроме того, существующие методы оценки технического состояния электрических распределительных сетей учитывают параметры вне их связи с природно-климатическими факторами, условиями эксплуатации, квалификацией персонала.

Во второй главе «Теоретическое обоснование и аналитическое исследование влияния природно-климатических факторов на техническое состояние сельских электрических распределительных сетей напряжением 0,38-10 кВ» выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, направленных на оценку числа и причин отказов силового электрооборудования, их классификации, определения законов распределения, а также степени влияния основных факторов на его техническое состояние.

Рассмотрены статистические данные по причинам отказов электрооборудования, полученные в ходе его эксплуатации в период с 1994 по 2007 год на энергоснабжающих предприятиях Рязанского региона.

Проанализированы также ежедневные природно-климатические факторы, полученные в результате многолетних наблюдений по Рязанскому региону с 1994 по 2000 год и информация, принятая с сервера «Погода России» за период с 2001 по 2007 годы включительно.

Условно все отказы по причине возникновения были классифицированы на четыре группы:

1. Природно-климатические;
2. Эксплуатационные;
3. Внешние независимые;
4. Прочие.

Природно-климатические факторы являются причиной отказов электрооборудования в 50 – 55 % случаях (рисунок 1). При детальном изучении установлено, что предпосылками в 80% случаях отказов электрооборудования является его высокий износ, и их возможно предотвратить при соответствующей системе технического обслуживания и текущего ремонта.

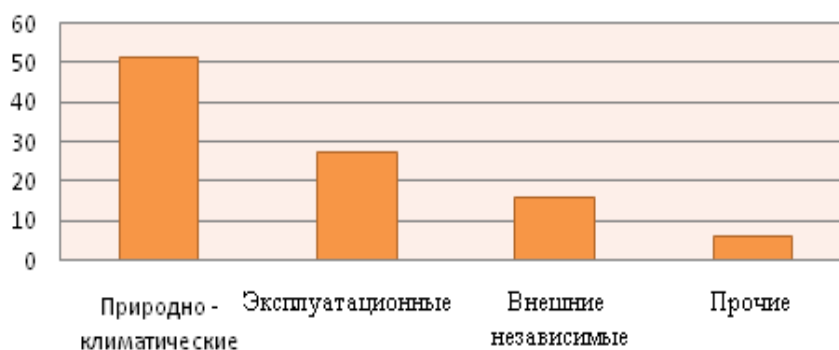


Рисунок 1. Гистограмма распределения причин отказов

Обработка статистических данных, полученных в ходе эксплуатации электрооборудования распределительных сетей напряжением 0,38...10 кВ, а также природно-климатических факторов, произведена в три этапа.

На первом этапе выполнено построение статистического ряда в виде гистограммы (рисунок 2) для создания наглядности изображения при большом количестве исходных данных.

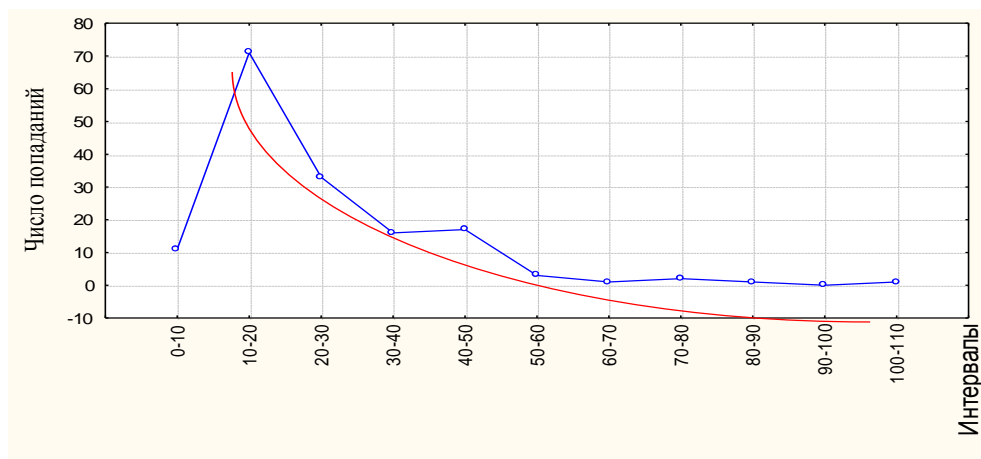


Рисунок 2. Гистограмма кумулятивных частот попадания в интервалы

Определен закон распределения случайной величины, за которую был принят отказ электрооборудования. Закономерности, наблюдаемые в массовых случайных явлениях, проявляются тем точнее и отчетливее, чем больше объем статистического материала. Теоретически при достаточном количестве опытов свойственные этим случайным величинам закономерности будут осуществляться сколь угодно точно. К методике обработки экспериментальных данных были предъявлены требования, чтобы она, сохраняла типичные, характерные черты отказов электрооборудования и отбрасывала все несущественное, второстепенное, связанное с недостаточным объемом опытного материала. На первом этапе обработки решена задача сглаживания или выравнивания статистических данных, представления их в наиболее компактном виде с помощью простых аналитических зависимостей.

Второй этап включал проверку правдоподобия гипотезы о законе распределения. Была определена степень правдоподобия статистического материала с подобранным законом распределения при помощи критериев χ^2 Пирсона и Колмогорова.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - Np_i)^2}{Np_i}, \quad (1)$$

$$\hat{D} = \max_{0 \leq x \leq \infty} | \hat{F}(x) - F(x, \theta) |. \quad (2)$$

Для причин отказов с нормальным законом распределения применен расчет по критерию Стьюдента.

На третьем этапе произведено нахождение неизвестных параметров распределения путем расчета числовых характеристик случайной величины по данным выборки. Результаты расчета были сведены в таблицы частот и кумулятивных частот попадания данных в интервалы разбиения (таблица 1) и построены гистограммы.

Выявлено, что значение фактических критериев согласия Пирсона, Колмогорова, Стьюдента теоретических и экспериментальных величин количества отказов электрооборудования не превышает табличного. Для всех законов распределения доверительная вероятность расчета равна $\beta = 0,95$, относительная ошибка - $\delta = 0,1$, уровень значимости принят $\alpha = 0,01$.

Таблица 1. Таблица частот и кумулятивных частот попадания данных в интервалы разбиения

Интервалы	Количество попаданий в интервал	Кумулятивное число попаданий	Частота попадания в интервал, %	Кумулятивные частоты, %
$0 < x \leq 10$	11	11	8,2512	8,2512
$10 < x \leq 20$	71	82	46,512	54,763
$20 < x \leq 30$	33	115	22,153	76,916
$30 < x \leq 40$	16	131	10,253	87,169
$40 < x \leq 50$	17	148	10,877	98,046
$50 < x \leq 60$	3	151	1,9221	99,968
$60 < x \leq 70$	1	152	0,0064	99,974
$70 < x \leq 80$	2	154	0,0128	99,987
$80 < x \leq 90$	1	155	0,0064	99,9936
$90 < x \leq 100$	0	155	0	99,9936
$100 < x \leq 110$	1	156	0,0064	100,00

Установлено, что в течение года количество отказов, обусловленных различными причинами, распределено неравномерно (рисунок 3).

На основании статистического расчета выявлено, что преобладающими законами распределения случайной величины являются экспоненциальный (68%), нормальный (13%), равномерный (5%), логонормальный (5%).



Рисунок 3. Среднее годовое распределение отказов обусловленных атмосферными осадками по месяцам за рассматриваемый период с 1994 по 2007 гг. выраженное в процентах

Преимущественно это отказы, обусловленные гололедно–ветровыми нагрузками, влажностью, прочими причинами, которые можно описать выражениями:

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x}, \quad (3)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot x} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - m}{\sigma}\right)^2}, \quad (5)$$

$$f(x) = \frac{1}{b-a}. \quad (6)$$

В третьей главе «Математическая модель отказов электрооборудования распределительных сетей напряжением 0,38-10 кВ» на основе корреляционно-регрессионного анализа установлена зависимость между природно-климатическими факторами, действиями обслуживающего персонала и отказами электрооборудования.

Выявлены периоды с наибольшей интенсивностью отказов за двенадцать месяцев года. При этом отказы рассмотрены поквартально и оценен сезонный характер каждого квартала.

Статистически определены четыре периода года с наибольшей интенсивностью возникновения отказов: с 20 по 31 марта, с 1 по 16 мая, с 1 по 29 июля, с 1 по 16 октября (рисунок 4).

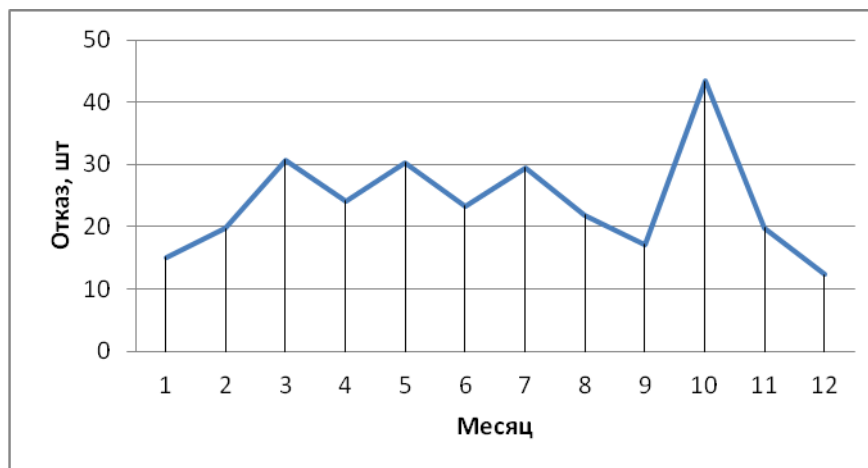


Рисунок 4. Гистограмма распределения отказов, обусловленных гололедно – ветровыми нагрузками

Изучение влияния природно – климатических факторов и действий (бездействий) персонала осуществлено на примере электрооборудования воздушных линий напряжением 0,38...10 кВ, которое по статистике (рисунок 6) и анализу показателей надежности (таблица 2) является самым повреждаемым элементом системы электроснабжения.

При решении данной задачи был использован метод множественного корреляционного и регрессионного анализа. Влияние природно-климатических причин и действия (бездействия) персонала рассматриваются как факторные признаки x_i, x_j , а отказы электрооборудования как результирующий признак y_i, y_j .

Таблица 2. Показатели надежности электрооборудования за рассматриваемый период

Наименование	$P_{(0)}$	$Q_{(0)}$	$\omega, 1/\text{год}$	$T, \text{год}$	$T_{\text{в}}, \text{ч}$	K_r	$T_{\text{п}}, \text{ч}$	$K_{\text{п}}$	$K_{\text{лю}}$
Распределительные пункты	0,83	0,17	0,2	5	2,82	0,639	0,235	0,361	0,56
Трансформатор 10/0,4 кВ	0,92	0,08	0,07	14,2	2,88	0,83	0,83	0,17	0,2
Кабельные линии 6 – 10 кВ	0,98	0,02	0,02	50	1,3	0,97	0,1	0,03	0,03
Кабельные линии 0,38 кВ	0,98	0,02	0,02	50	1,3	0,97	0,1	0,03	0,03
Воздушные линии 0,38 кВ	0,95	0,05	0,05	20	0,04	0,99	0,99	0,01	0,01
Ввод (воздушный)	0,91	0,09	0,09	11,1	0,675	0,94	0,94	0,06	0,06
Масляный выключатель	0,93	0,07	0,07	14,2	0,91	0,91	0,1	0,09	0,1
Автоматические воздушные выключатели до 1 кВ	0,91	0,09	0,06	15	0,75	0,98	0,05	0,02	0,02
Вакуумный выключатель	0,98	0,02	0,02	50	1,3	0,97	0,1	0,03	0,03
Вентильный разрядник	0,94	0,06	0,06	20	2,275	0,89	0,175	0,11	0,12

Для типичной схемы Рязанского региона сельской электрической распределительной сети потребителей напряжением 0,38...10 кВ (рисунок 5), рассчитана повреждаемость воздушных линий (таблица 3).

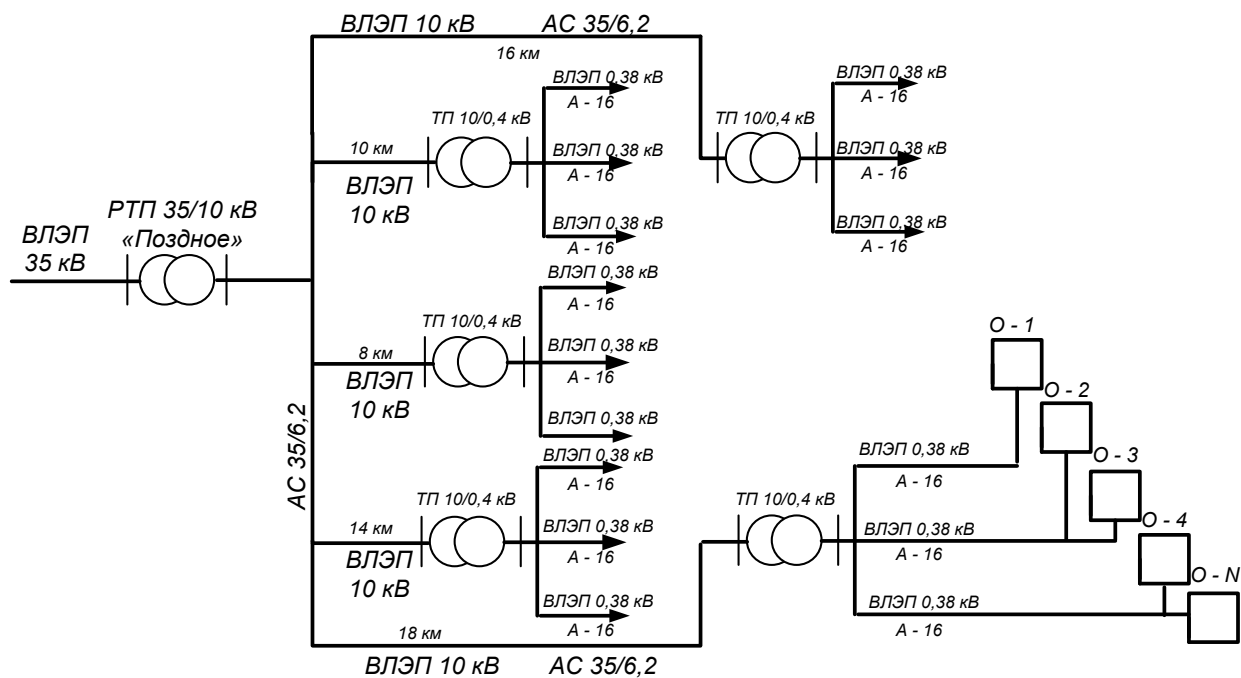


Рисунок 5. Схема электроснабжения сельскохозяйственных потребителей напряжением 0,38...10 кВ

Таблица 3. Показатели надежности воздушных линий напряжением 0,3810 кВ

№	Наименование линии	Напряжение, $U_{ном}$, кВ	Длина, L , км	Частота отказов, 1/год
1	Позднее - Грязное	10	16	4
2	Позднее - Осовец	10	10	2,5
3	Позднее – Щегалево	10	8	2
4	Позднее - Половнево	10	14	3,5
5	Позднее - Александрово	10	18	4,5
6	н.п. Александрово	0,38	1,4	1,05
7	- // - // -	0,38	2,2	1,65
8	- // - // -	0,38	2,3	1,725
9	- // - // -	0,38	1,9	1,425

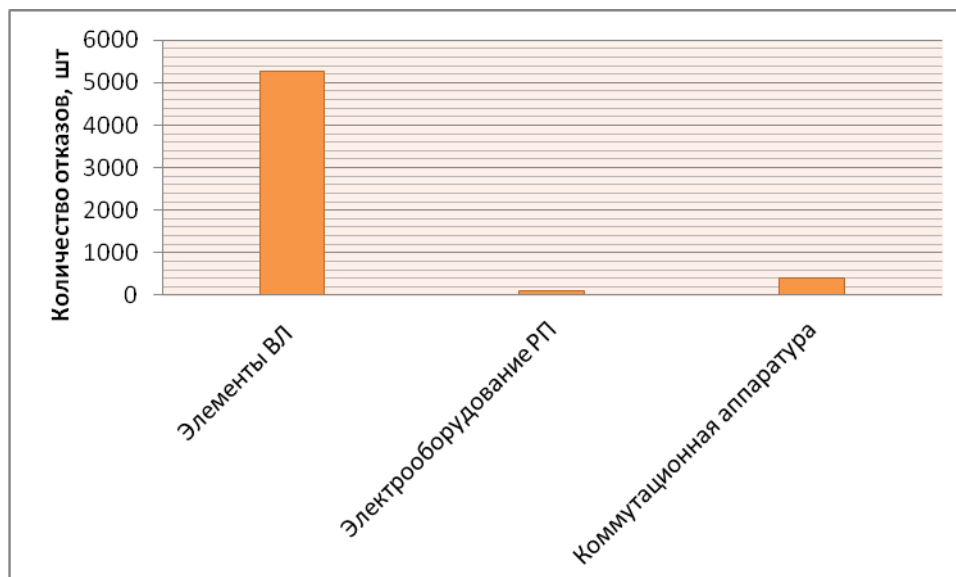


Рисунок 6. Гистограмма распределения числа отказов электрооборудования, обусловленных ветровыми нагрузками

Определен коэффициент корреляции Брауэ - Пирсона r_I для отказов электрооборудования обусловленных природно-климатическими факторами:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}} \quad (7)$$

Если распределение случайной величины происходит по нормальному закону распределения, или предположение о том, что двумерная выборка (x_i, y_i) получена из двумерной нормальной генеральной совокупности принимается, то применен коэффициентом ранговой корреляции Спирмена (r_{xy}^S):

$$r_{xy}^S = 1 - \frac{6 \cdot \sum (d_x - d_y)^2}{n \cdot (n^2 - 1)}, \quad (8)$$

Предполагая, что между переменными x_1, x_2, y существует линейная корреляционная зависимость, найдено ее аналитическое выражение (т.е. уравнение регрессии y по x_1 и x_2).

Оценка значимости коэффициента корреляции r проведена с использованием t -критерия Стьюдента. Полученное значение t -критерия составляет $t_{\text{факт}}=4,33$, что больше табличного ($t_{\text{табл}}=2,750$), и свидетельствует о значимости коэффициента корреляции и существенной связи между отказами оборудования воздушной линии 0,38...10 кВ и природно – климатическими факторами. Получены уравнение однофакторной (парной) линейной корреляционной связи, которые имеют вид:

$$\hat{y} = a_0 + a_1x \quad (9)$$

Используя вышеуказанные формулы для вычисления параметров линейного уравнения регрессии и расчётные значения, получаем:

$$\begin{cases} a_1 = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{x^2 - \bar{x}^2} \\ a_0 = \bar{y} - a_1\bar{x} \end{cases} \quad (10)$$

Уравнение множественной регрессии для различных природных явлений, влияния человека и отказов электрооборудования на примере 2007 года по Рязанскому региону имеет вид, приведенный в таблице 4.

Таблица 4. Уравнения множественной регрессии для отказов электрооборудования

Природное явление	Уравнение регрессии	r_1	Степень взаимосвязи
1	2	3	4
Гололедно - ветровые нагрузки	$y=45,4+0,45 x_1$	0,74	высокая
Температурные колебания	$y=-9,55+0,13x_1$	0,12	слабая
Атмосферные перенапряжения	$y=-3,4+0,35x_1$	0,59	заметная
Влажность	$y=-4,59+0,5x_1$	0,48	умеренная
Атмосферные осадки	$y=-3,56+0,62x_1$	0,93	весьма высокая

Определен множественный коэффициент корреляции r_1 для отказов электрооборудования за 1994 - 2007 гг. по Рязанскому региону, которые произошли из – за бездействия эксплуатационного персонала и по шкале линейной корреляционной зависимости признаков Чеддока была установлена степень взаимосвязи. Коэффициент корреляции r для генеральной совокупности, как правило, неизвестен, поэтому оценивается по экспериментальным данным, представляющим собой выборку объема n пар значений (x_i, y_i) , полученную при совместном измерении двух признаков x и y .

Уравнение множественной регрессии вида $y = n_1 + n_2x_1 + n_3x_2$ показывает, что при увеличении x_1 (при неизменном x_2) на одну единицу количество отказов увеличивается на n_2 , а при увеличении x_2 (при неизменном x_1), на величину n_3 .

Корреляционный анализ подтвердил значительное влияние человеческого фактора на отказы, причинами которых первоначально считались природно-климатические факторы. Таким образом, из общего числа отказов электрооборудования распределительных сетей 0,38...10 кВ природно-климатический фактор, хоть и является преобладающим, но имеет прямое влияние лишь на 20-22%.

Зависимость отказов оборудования воздушных линий 0,38...10 кВ от гололедно – ветровых нагрузок и человеческого факторов, по данным оперативно – диспетчерской службы на примере 2007 года, показана на трехмерной гистограмме, изображенной на рисунке 7.

Количественные критерии для оценки тесноты связи (шкала Чеддока) приводится в таблице 5.

Таблицы 5. Количественные критерии оценки тесноты связи (шкала Чеддока)

Величина коэффициента корреляции	0,1 – 0,3	0,3 – 0,5	0,5 – 0,7	0,7 – 0,9	0,9 – 1,0
Характеристика силы связи	слабая	умеренная	заметная	высокая	весьма высокая

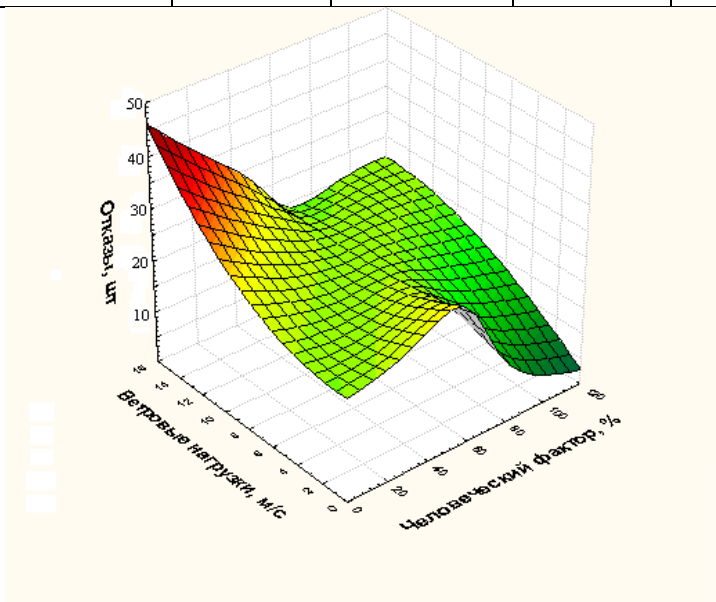


Рисунок 7. Зависимость отказов электрооборудования воздушных линий 0,38...10 кВ от гололедно – ветровых нагрузок и человеческого фактора

Проведена оценка тесноты связи по шкале Чеддока, которая в виде гистограммы изображена на рисунке 8.

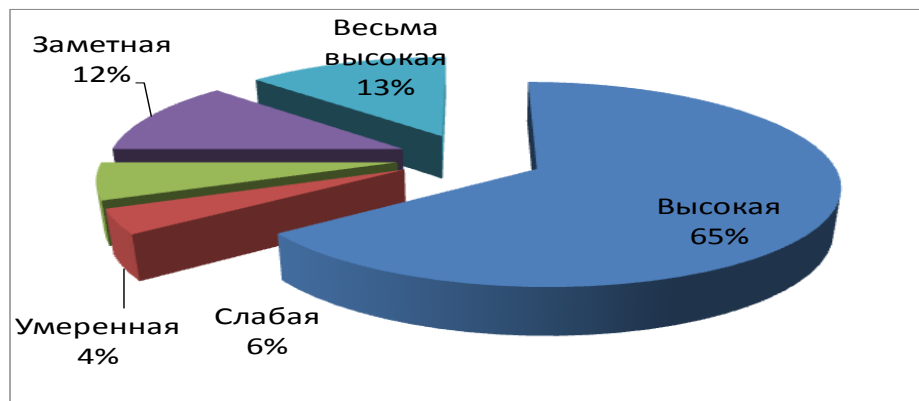


Рисунок 8. Гистограмма распределения оценка тесноты связи отказов электрооборудования с природно климатическими факторам

Построена графическая зависимость отказов элементов распределительных сетей напряжением 0,38...10 кВ от каждого природно - климатического фактора для всего периода наблюдения.

В четвертой главе «Методика оценки комплекса средств технического обслуживания для повышения надежности систем электроснабжения» создана на основе системы массового обслуживания модель оценки влияния каждого из рассматриваемых средств на повышение технического состояния сельских электрических распределительных сетей. Разработана методика, алгоритм и программное обеспечение «Эксперт 1.0» для реализации эффективной системы технического обслуживания электрооборудования за счет оптимальной стратегии проведения ремонтных работ, определения количества специальной техники, запасных частей и оборудования, персонала.

Для разработки методики оценки и повышения эффективности применения комплекса средств технического обслуживания системы электроснабжения напряжением 0,38...10 кВ применен метод теории массового обслуживания. Каждая составляющая комплекса средств технического обслуживания рассматривалась как одноканальная или многоканальная система массового обслуживания (СМО) с ограниченной очередью (система с потерями) для потребителей 1 категории и неограниченной очередью (система без потерь) для потребителей 2 и 3 категории по надежности электроснабжения. За один канал (систему) обслуживания принята одна организационная единица (количество бригад, техники и т.д.). Энергоснабжающее предприятие в целом рассмотрено как многоканальная СМО. Возникновение отказа, представлено как поток однородных заявок (пуассоновский поток), появляющихся в случайные моменты времени.

Для систем с ограниченной очередью заявка, поступившая в СМО в момент, когда все каналы обслуживания заняты, получает отказ и уходит в другую обслуживающую систему (например, подрядную организацию).

Схема возможных переходов системы обслуживания из одного состояния в другое показана в виде схемы, изображенной на рисунке 9.

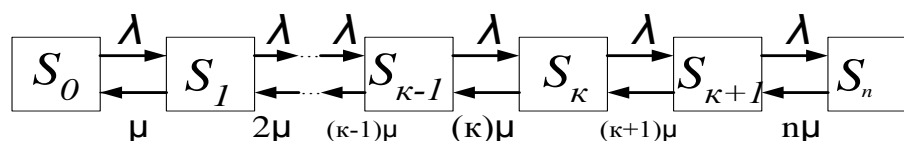


Рисунок 9. Схема возможных переходов системы из одного в другое состояния

На основании разработанной методики построен алгоритм с использованием стандартных блок-схем (рисунок 10).

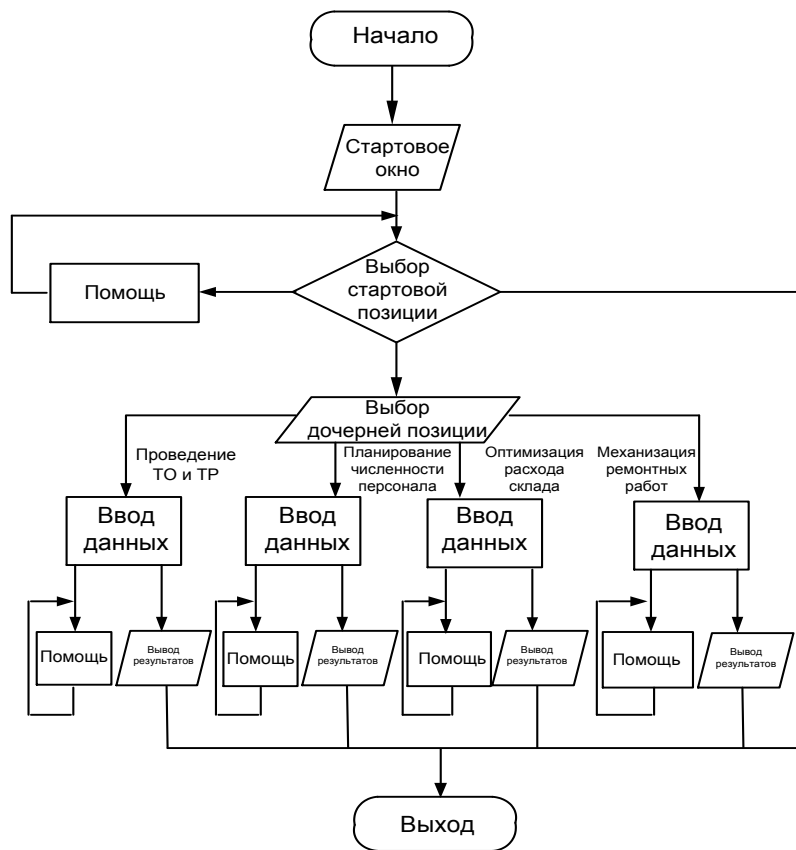


Рисунок 10. Общий алгоритм программы «Эксперт 1.0»

Практической реализацией разработанной методики стала программа под названием «Эксперт 1.0», которая написана на языке Delphi версии 7.0 фирмы Borland .

Для начала работы пользователю необходимо выбрать одну из четырех составляющих средств системы технического обслуживания электрооборудования в стартовом окне (рисунок 11).

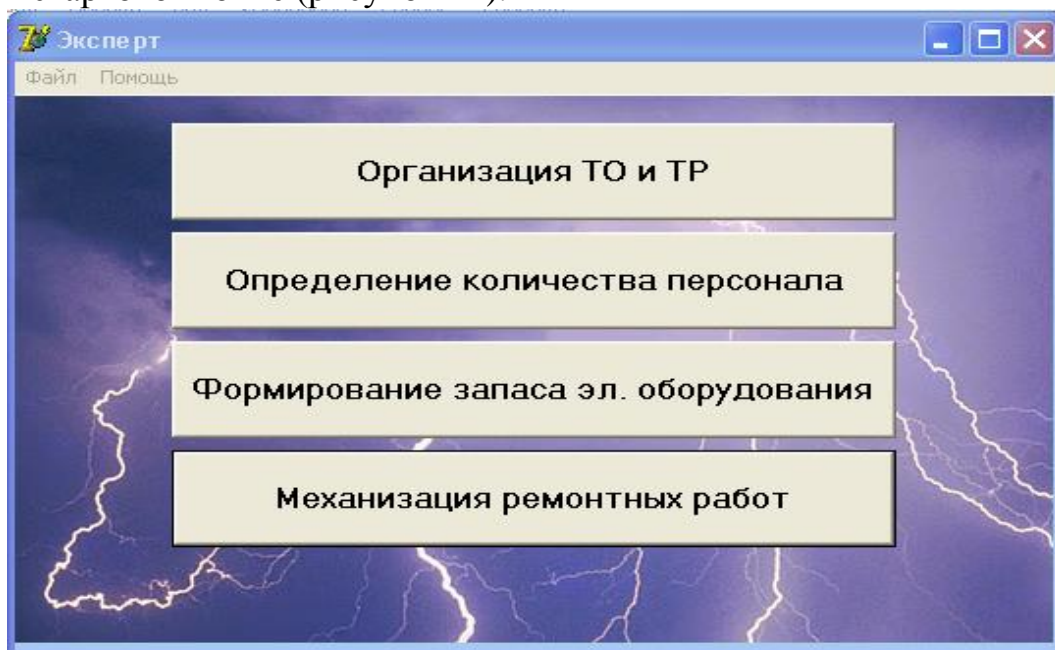


Рисунок 11. Стартовое окно программы «Эксперт 1.0»

Далее необходимо заполнить все значения в дочерних окнах программы. Для удобства выбора некоторые исходные данные представлены в виде раскрывающегося списка. Все действия пользователя сопровождаются комментариями, которые расположены в кнопке «Помощь». В случае ввода букв вместо цифр, или дробного числа программа выдаст предупреждение о недопустимом действии.

При расчете программа «Эксперт 1.0» выдает значение следующих показателей (рисунок 12): вероятность того, что СМО свободна, вероятность отказа в обслуживании, относительная пропускная способность системы обслуживания, вероятность обслуживания заявки, абсолютная пропускная способность системы, среднее число занятых каналов и другие.

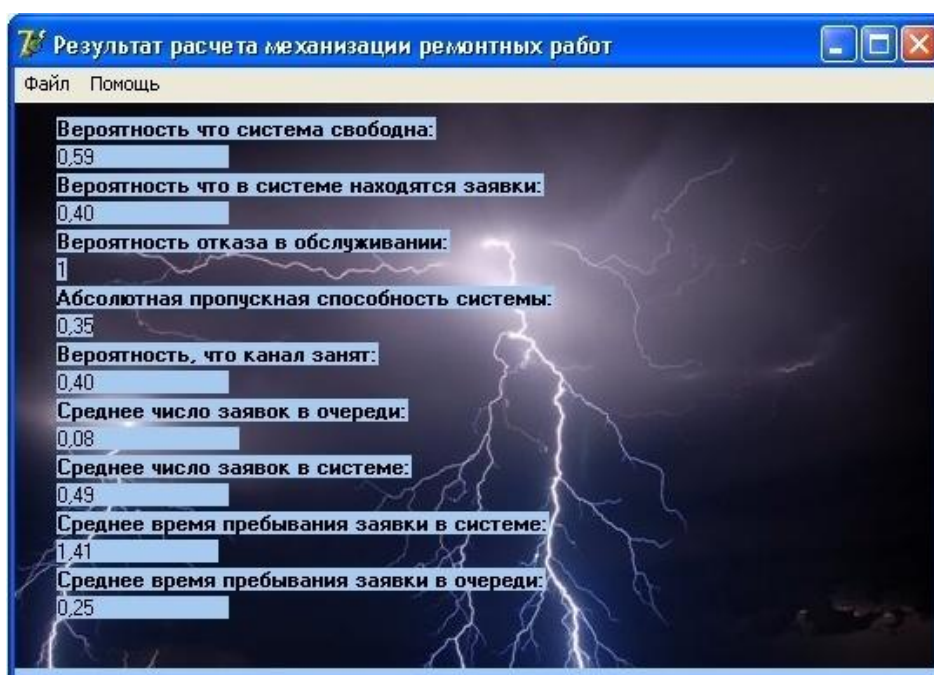


Рисунок 12. Окно результатов программы «Эксперт 1.0»

Программа «Эксперт 1.0» ориентирована на Рязанский регион, но после внесения некоторых корректировок может быть использована для предприятий электрических сетей других областей.

В **пятой главе** «Экономическое обоснование применения комплекса средств технического обслуживания» представлены экономические расчеты, показывающие, что применение разработанного комплекса средств повышения эффективности работы сельских электрических распределительных сетей позволяет повысить надежность системы электроснабжения потребителей до нормируемого уровня и получить значительный экономический эффект

На примере производственного объединения «Рязанские электрические сети» филиал «Михайловский РЭС» проведен технико-экономический расчет. В настоящее время предприятия электрических сетей обеспечены подразделениями, спецтехникой, запасными частями и материалами, проводят стратегии технического обслуживания или ремонта не в полной мере, и

лишь для устранения отказов электрооборудования и их последствий (таблица 6). При этом высказываются претензии со стороны потребителя на надежность электроснабжения, снижается прибыль энергосбытовых компаний из – за недоотпуска электроэнергии и выплату штрафов за невыполнение условий надежности электроснабжения.

Таблица 6. Результаты оценки эффективности организации технического осмотра и текущих ремонтов

Количество СМО	1		2		3		4		5	
	План	Факт	План	Факт	План	Факт	План	Факт	План	Факт
p_0	0,9	0,88	0,92	0,91	0,94	0,93	0,95	0,94	0,95	0,95
p_k	0,04	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$p_{обс}$	-	-	0,94	0,93	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
$p_{ожд}$	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$p_{п+т}$	-	-	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Q	0,12	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-
K_z	-	-	0,13	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,09
$K_{пр}$	-	-	0,64	0,62	0,71	0,75	0,83	0,85	0,87	0,89
$N_{св}$	-	-	1,95	1,94	2,95	2,94	2,95	2,94	2,95	2,94
$N_{сист}$	0,25	0,26	0,23	0,24	0,22	0,23	0,21	0,22	0,2	0,21
$N_{оч}$	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$T_{сист}$	6,42	6,42	6,2	6,09	5,93	5,94	5,87	5,9	5,85	5,86
$T_{оч}$	4,02	4,2	3,84	4,01	3,82	3,95	3,79	3,93	3,72	3,94

В связи с этим рекомендовано привлечение подрядных организаций, приобретение спецтехники для выполнения профилактических работ и предупреждения отказов (рисунок 13).

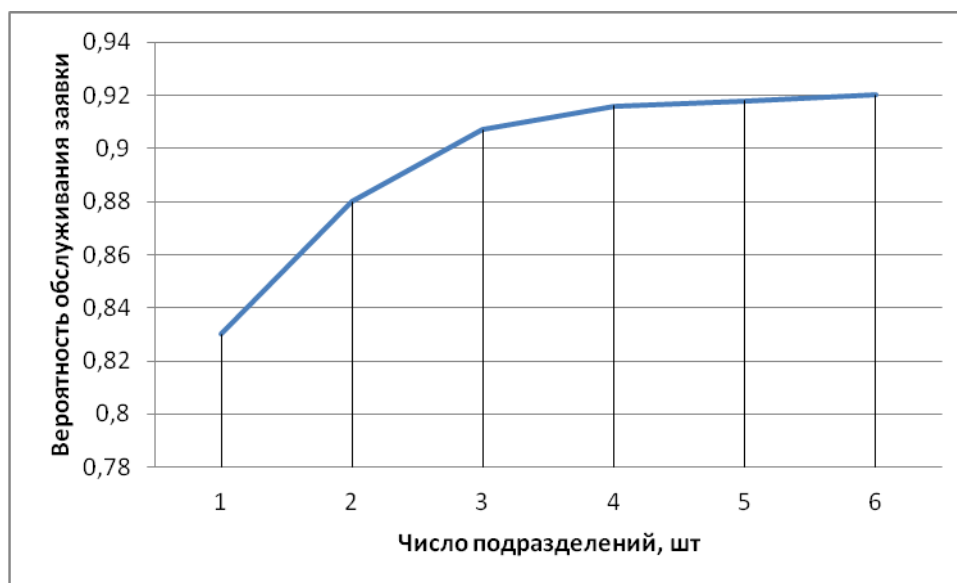


Рисунок 13. Зависимость вероятности обслуживания заявки от числа подразделений предприятия электрических сетей

Установлено, что для предприятия «Михайловские РЭС» достаточно привлечение 1 – 2 бригад и одной единицы специальной техники на периоды с высокой интенсивностью отказов электрооборудования, обусловленных природно - климатическими факторами (рисунок 13).

Расчет показал, что экономический эффект на предприятии при проведении ремонтных работ основного электрооборудования напряжением 0,38...10 кВ может быть достигнут за счет применения нескольких стратегий обслуживания, а также за счет возможности обеспечения равномерности входного потока заявок. Годовой экономический эффект от применения разработанной методики оценки эффективности комплекса средств технического обслуживания для повышения надежности системы электроснабжения по отношению к принятому на предприятиях ОАО «МРСК Центра и Приволжья» филиал «Рязаньэнерго» составляет 760,6 тыс. рублей в год для «Михайловский РЭС».

В заключении приводятся основные результаты, полученные в диссертационной работе.

В приложении представлены основные и промежуточные результаты диссертационной работы, графические материалы, а также акты внедрения на предприятии ОАО «МРСК Центра и Приволжья».

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В диссертационной работе рассмотрено повышение надежности сельских распределительных сетей напряжением 0,38...10 кВ за счет совершенствования системы технического обслуживания электрооборудования.

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований сводятся к следующему:

1. При проведении системы технического обслуживания электрического оборудования распределительных сетей напряжением 0,38...10 кВ необходимо учитывать надежность оборудования, характер воздействующих природно-климатических факторов, особенности функционирования и построения системы электроснабжения, а также уровень оснащенности электроснабжающего предприятия запасными частями электрического оборудования, специальными машинами и механизмами, количество персонала.

2. Анализ технического состояния электрооборудования сельских электрических распределительных сетей по Рязанскому региону показал, что оно не удовлетворяет требованиям потребителей по надежности электроснабжения.

3. Выявлены и обоснованы признаки, характеризующие отказы основного силового оборудования распределительных электрических сетей, классифицированы причины отказов по воздействующим факторам, определены основные характеристики генеральной совокупности отказов силового электрооборудования, подобраны законы распределения причин отказов электрооборудования и рассчитаны их параметры, позволяющие оценить надежность электрического оборудования и систем электроснабжения.

4. Установлено, что преобладающей причиной отказов электрооборудования являются ветровые нагрузки (40-42% отказов) и температурные колебания (14-16%), которые входят в группу природно-климатических факторов. В группе эксплуатационных факторов преобладающей причиной являются перегрузки по току и несимметрия напряжения (45%), в группе внешних независимых факторов значительную часть составляют попадание под напряжение животных и птиц (78%). Определено, что наиболее низкие показатели надежности ($P = 0,87$; $Q = 0,13$) наблюдаются у воздушных линий электропередачи, при этом наиболее повреждаемым элементом являются неизолированные провода (до 70 % всех отказов).

5. Созданы теоретические положения управления системой технического обслуживания электрооборудования распределительных сетей на базе теории массового обслуживания, предложенных в качестве математических моделей функционирования электрооборудования и систем электроснабжения, с учетом динамических взаимосвязей между ними, характера природно – климатических факторов. Основными законами распределения количества отказов электрооборудования напряжением 0,38...10 кВ являются экспоненциальный (68%), нормальный (13%), равномерный (5%), а также логарифмический нормальный (5%).

6. Разработанная методика, позволяет достоверно определять степень тесноты взаимосвязи между природно-климатическими факторами, отказами электрооборудования и человеческим фактором. В 65% случаях теснота связи отказов с природно-климатическими факторам является высокой, в 13% - весьма высокой, в 12% - заметной, в 4% - умеренной, в 6% случаях - слабой. Установлено, что 62% общей вариации отказов обусловлено вариацией природно-климатического фактора.

7. Предложена методика и разработан алгоритм оценки эффективности и совершенствования комплекса средств технического обслуживания для повышения надежности, в котором каждая составляющая рассматривается как одноканальная или многоканальная система массового обслуживания с ограниченной очередью (система с потерями) для потребителей первой категории и неограниченной очередью (система без потерь) для потребителей второй и третьей категории по надежности электроснабжения.

8. Идеальная эффективность удовлетворения заявки (устранения отказа электрооборудования), равная 0,97...0,99, получена при входящем пуассоновском потоке (одинарный равномерный поток) и выходящем потоке Пальма (поток без последствий). Она позволяет планировать систему технического обслуживания на любой период времени.

9. Разработано программное обеспечение «Эксперт 1.0» в среде программирования Delphi версии 7.0 фирмы Borland, позволяющее проводить оценку эффективности комплекса средств технического обслуживания для повышения надежности электрооборудования воздушных линий напряжением 0,38...10 кВ по Рязанскому региону.

10. Произведена оценка экономической эффективности от реализации разработанного комплекса средств технического обслуживания электрооборудования системы электроснабжения на предприятиях ОАО «МРСК Центра и Приволжья» филиал

«Рязаньэнерго». Ожидаемый экономический эффект составил 760,6 тыс. рублей для филиала «Михайловский РЭС».

11. Результаты исследования внедрены в учебный процесс по дисциплине «Надежность электрического оборудования и систем электроснабжения» для студентов специальности 110302.65 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» и направлению подготовки бакалавров 110800.62 «Агроинженерия», профиль подготовки «Электрооборудование и электротехнологии в сельском хозяйстве» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», а также на курсах повышения квалификации сотрудников ОАО «МРСК Центра и Приволжья» филиал «Рязаньэнерго». Предприятию дана рекомендация о необходимости оснащения служб программным обеспечением «Эксперт 1.0».

Основные положения диссертационной работы отражены в следующих публикациях:

I. Издания по перечню ВАК:

1. Лопатин, Е.И. Использование программного обеспечения для оценки мероприятий по повышению надежности воздушных линий / Т.Н. Васильева, Е.И. Лопатин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011, №6. – С. 22 – 24.

2. Лопатин, Е.И. Оценка организационно – технических мероприятий повышения надежности электроснабжения / Е.И. Лопатин // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. - 2011, №1. - часть 1. – С.221 – 224.

3. Лопатин, Е.И. Анализ надежности электрооборудования распределительных сетей напряжением 0,38...10 кВ /Е.И. Лопатин // Сельский механизатор,- 2011, №6. – С. 30 – 31.

II. Прочие публикации:

1. Лопатин, Е.И. Стратегии обслуживания электрооборудования / Т.Н. Васильева, Е.И. Лопатин // Сборник статей XIV международная научно-практическая конференции молодых учёных и специалистов «Молодость, талант, знания агропромышленному комплексу России», Троицк: УГАВМ, 2009. - С. 245 – 248.

2. Лопатин, Е.И. Дистанционный контроль технического состояния опор воздушных линий 0,4...10 кВ/ Т.Н. Васильева, Е.И. Лопатин // Сборник научных докладов Международной научно – практической конференции «Ресурсосберегающие технологии и техническое обеспечение производства зерна» (5-6 октября 2010 г., Москва).

3. Лопатин, Е.И. Оценка периодов интенсивных отказов оборудования распределительных сетей 0,38 ...10 кВ / Т.Н. Васильева, Е.И. Лопатин // Сборник статей международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Модернизация АПК в контексте обеспе-

чения продовольственной безопасности государства», Курск: КГСХА, 2010. - С. 44 - 48.

4. Лопатин, Е.И. Исследование корреляционной связи климатических факторов, действия персонала и отказов электрооборудования распределительных сетей 0,38...10 кВ / Т.Н. Васильева, Е.И. Лопатин //Сборник научных статей 63 – международной научно – практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Мичуринск: МичГАУ, 2011. – С. 34 – 37.

5. Лопатин, Е.И. Анализ надежности электрооборудования распределительных сетей в сельском хозяйстве /Т.Н. Васильева, Е.И. Лопатин // Сборник статей международной научно – практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвященный 70 – летию профессора Некрашевича В.Ф., Рязань: РГАТУ, 2011. – С.45 – 48.

6. Лопатин, Е.И. Использование программного обеспечения для оценки комплекса средств по техническому обслуживанию электрооборудования для повышения надежности электроснабжения /Т.Н. Васильева, Е.И. Лопатин // Сборник работ III этапа Всероссийской научно – практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Саратов: СГАУ, 2011. – С.145 – 148.

7. Лопатин, Е.И. Использование программного обеспечения для оценки организационно - технических мероприятий повышения надежности электроснабжения/Т.Н. Васильева, Е.И. Лопатин // Вестник РГАТУ. – 2011, №2.

8. Лопатин, Е.И. Анализ причин отказов электрического оборудования распределительных сетей 0,38...10 кВ /Т.Н. Васильева, Е.И. Лопатин // Вестник РГАТУ. – 2011, №3.

9. Лопатин, Е.И. Надежность счетчиков электрической энергии при их эксплуатации /Т.Н. Васильева, Е.И. Лопатин // Вестник РГАТУ. – 2012, №1.

Подписано в печать _____ 2012 года. Заказ № _____

Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1 Тираж 100 экз.

Типография Рязанского государственного агротехнологического университета