

На правах рукописи

**Ланин Александр Владимирович**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ НАДЁЖНОСТИ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
РАБОТЫ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
СЕТЕЙ 10 кВ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии  
и электрооборудование в сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Иркутская государственная сельскохозяйственная академия»

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор <b>Наумов Игорь Владимирович</b>
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор <b>Пантелеев Василий Иванович</b>
	кандидат технических наук, профессор <b>Кунгс Ян Александрович</b>
Ведущая организация	ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Защита диссертации состоится 17 февраля 2012 года в 14<sup>00</sup> на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 220.037.01 при ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет» по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90.

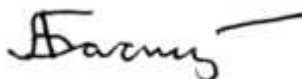
Тел/Факс: 8(391)227-36-09, e-mail: dissovet@kgau.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан 16 января 2012 г.

Автореферат размещен на сайте [www.kgau.ru](http://www.kgau.ru) 16 января 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Бастрон А.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

**Актуальность темы.** Сельские распределительные сети можно отнести к электрическим сетям низкой наблюдаемости, в силу их слабого оснащения средствами управления, рассредоточенности на обширных территориях и разветвлённой структуры транспорта электрической энергии.

Это обуславливает повышенную аварийность этих сетей, особенно отчётливо проявляющуюся в электрических сетях 10 кВ, где ежегодно фиксируется более 1500 отказов. Основными причинами возникновения отказов являются повреждения элементов электрических сетей, вызванные целым комплексом причин.

Следует отметить, что электрические сети 6-10 кВ передают электроэнергию не только коммунально-бытовым потребителям, но и достаточно большому количеству сельскохозяйственных предприятий, имеющих в своём составе приёмники 1, 2 и 3 категории по уровню надёжности электроснабжения. Поэтому перерывы электроснабжения в сельских распределительных сетях могут повлечь не только недоотпуск, но и значительный брак сельхозпродукции.

Таким образом, повышение уровня надёжности электроснабжения в рассматриваемых электрических сетях является важнейшим направлением сельской электрификации.

Вопросами надёжности электроснабжения в сельских сетях в разное время занимались такие учёные как Авраменко С.В., Анищенко В.А., Будзко И.А., Воропай Н.И., Гук Ю.Б., Ковалёв Г.Ф., Некрасов А.И., Папышев А.В., Перехватов Д.П., Разумихин В.М., Стребков Д.С., Хомутов О.И., Юндин М.А. и другие. Вместе с этим, существующие методы оценки уровня надёжности электроснабжения весьма детерминированы и учитывают ограниченное количество показателей надёжности вне их связи с режимными характеристиками в электрических сетях. Кроме того, разработка мероприятий по обеспечению надёжности электроснабжения в настоящее время немыслима без перспективного плана по обслуживанию элементов электросетевого хозяйства систем электроснабжения. Плановое обслуживание электрических сетей, оперативное управление режимами работы неразрывно связаны с возможными рисками при эксплуатации элементов электросетевого оборудования.

В связи с этим, важное значение приобретает прогнозирование уровня надёжности и функционального состояния электрических сетей 10 кВ сельского назначения, на основании которого с достаточной вероятностью можно предсказать изменение уровня надёжности электроснабжения рассматриваемого участка электроэнергетической системы. Это позволит разработать комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на минимизацию возможных рисков, связанных с перерывами электроснабжения.

Кроме того нельзя не учитывать, что уровень надёжности электроснабжения находится в тесной взаимосвязи с изменяющимся уровнем качества электроэнергии. Снижение напряжения в электрических сетях приводит к перегрузке отдельных элементов этих сетей, что может служить причиной отказа. Таким образом, математическое описание взаимосвязи показателей надёжности с показателями качества электроэнергии в распределительных электрических

сетях, позволит количественно оценить эту взаимосвязь и создать её прогнозную модель на отдалённую перспективу.

**Цель работы** – прогнозирование уровня надёжности электроснабжения для повышения эффективности работы сельских электрических распределительных сетей 10 кВ в условиях изменяющегося качества электрической энергии.

**Задачи исследования:**

1. Анализ методов прогнозирования и классификация отказов на основе статистической обработки данных в сельских распределительных сетях.

2. Разработка моделей прогнозирования с учётом автокорреляции значений выборки и изменяющегося качества электроэнергии.

3. Разработка алгоритма и создание программного обеспечения, для прогнозирования показателей надёжности электроснабжения.

4. Оценка экономической эффективности внедрения программного обеспечения по прогнозированию надёжности электроснабжения в процесс комплектования запасного оборудования электрических сетей 10 кВ Иркутской электросетевой компании.

**Объект исследования.** Электрические распределительные сети 10 кВ.

**Предмет исследования.** Прогнозные модели для оценки функционального состояния электрических сетей 10 кВ.

**Научная новизна исследований:**

– прогнозная модель функционирования электрических сетей 10 кВ на основе автокорреляции значений выборки;

– модель прогнозирования уровня надёжности электроснабжения с учётом изменяющегося качества электроэнергии;

– алгоритм и анализ прогнозируемого уровня надёжности электроснабжения на основе использования информационно-технологического обеспечения «Прогноз – 2+».

**Практическая значимость и реализация работы.**

Полученный анализ прогнозных моделей может использоваться для проведения комплекса мероприятий, направленного на повышение уровня надёжности электроснабжения.

Результаты выполненных научных исследований и созданная на их основе программа «Прогноз – 2+» приняты к внедрению в филиале «Южные электрические сети» ОАО «Иркутская электросетевая компания».

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе на кафедре электроснабжения и теплоэнергетики ФГБОУ ВПО «Иркутская государственная сельскохозяйственная академия» при изучении дисциплины «Электроснабжение».

**Основные положения, выносимые на защиту:**

– метод прогнозирования уровня надёжности электроснабжения на основе автокорреляции значений выборки;

– метод прогнозирования уровня надёжности электроснабжения на основе изменяющегося качества электроэнергии;

– алгоритм и программа прогнозирования уровня надёжности электро-снабжения.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований докладывались и обсуждались на международной научно-практической конференции ИрГСХА «Рациональное природопользование и энергосберегающие технологии в агропромышленном комплексе» (Иркутск, 2010); всероссийской научно-технической конференции с международным участием АмГУ «Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов» (Благовещенск, 2011); совместном немецко-русском коллоквиуме (семинаре) на тему «Технология Smart grid» в университете Отто-Фон-Герике, (Магдебург, 2011); научно-практической конференции молодых учёных Сибири и Дальнего Востока ИрГСХА «Научные достижения производству» (Иркутск, 2009, 2011); II-м, III-м и IV-м региональном научно-практическом семинаре ИрГСХА «Чтения И.П. Терских» (Иркутск, 2009, 2010, 2011); первом этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди аспирантов ВУЗов Министерства сельского хозяйства РФ по номинации «Технические науки» ИрГСХА (Иркутск, 2010); втором этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди аспирантов ВУЗов Министерства сельского хозяйства РФ СФО по номинации «Технические науки» КрасГАУ (Красноярск, 2010).

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 6 печатных работ, в том числе 3 работы – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получено свидетельство о Государственной регистрации компьютерной программы.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов, списка литературы из 118 наименований, приложений. Изложена на 210 страницах машинописного текста, содержит 47 рисунков и 21 таблицу.

**Личный вклад автора.** Все полученные результаты исследований осуществлены лично автором и обобщены при поддержке научного руководителя.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, ее научная новизна, сформулированы цель работы, задачи исследования и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** «Методы прогнозирования для оценки уровня надёжности электроснабжения сельского хозяйства» на основе обзора и изучения научнообоснованной информации и литературы, дана характеристика современных методов прогнозирования. Проанализированы наиболее эффективные и используемые в настоящее время методы для прогнозирования уровня надёжности электроснабжения сельского хозяйства. Приведены сведения о применяемом для прогнозирования числа отказов программном обеспечении. На основании изучения трудов известных ученых Буторина В.А., Васильевой Т.Н., Вентцель Е.С., Волкова С.В., Воропая Н.И., Глущенко В.В., Гука Ю.Б., Иванько Я.М., Лабунской Н.Л., Микрюкова Д.Н., Рыбакова Л.М. и других установлено, что прогнозирование уровня надёжности заключается в прогнозировании изме-

нения состояния технической системы на основании взаимосвязи отказов и восстановлений.

В результате анализа методов, способов и средств прогнозирования было установлено, что наиболее точным является вероятностное прогнозирование, основанное на нахождении квантиля с заданной доверительной вероятностью 0,95. Также на основании анализа установлено, что существующие модели и программные продукты имеют достаточно высокую ошибку прогноза (может достигать 35 % при прогнозе на месяц следующего года) и прогнозируют только один показатель надёжности – частоту отказов.

Таким образом, возникает задача создания программного обеспечения, имеющего более высокую точность прогноза и учитывающую факторы, связанные с изменяющимся качеством электроэнергии. Кроме того, метод и программа прогнозирования должны рассматривать несколько показателей надёжности и обеспечивать возможность повышения уровня эксплуатационной надёжности элементов электрических сетей.

**Во второй главе** «Теоретические основы прогнозирования уровней функционирования систем сельского электроснабжения» выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, направленных на прогнозирование числа отказов и времени восстановления в электрических сетях 10 кВ. Определена корреляционно-регрессионная взаимосвязь между количеством отказов и величиной потерь напряжения.

На основании данных об отказах, аварийных отключениях и времени восстановления распределительных сетей 10 кВ, полученных в ходе эксплуатации электрооборудования в филиале Восточные электрические сети ОАО «Иркутская электросетевая компания» (ВЭС ОАО «ИЭСК»), разработана классификация аварийных отключений в данных сетях.

Сбор статистического материала осуществлялся по планам испытаний [NMr] и [NMT] для восстанавливаемых изделий (М). Данные планы включают изучение N – объектов. После каждого отказа объекты восстанавливаются. Каждый объект испытывается до того момента, пока суммарное количество отказов не достигнет r (необходимое количество отказов электрооборудования в распределительных сетях), по истечении времени испытания или наработки T. Объём выборки N для оценки средней наработки на отказ вычисляется по формуле:

$$N = \left\{ \frac{r}{\chi} \right\}, \quad (1)$$

где  $\chi$  – относительная продолжительность испытания (берётся целая часть):

$$\chi = \frac{T_u}{T_{cp}}, \quad (2)$$

где  $T_u$  - время испытания, за которое принимается период, на основании которого проводится исследование состояния объектов системы;  $T_{cp}$  – среднее время испытания (наработка), за которое принимается продолжительность работы объектов системы между ремонтами (перерывами).

В условиях большого количества статистических данных допускается, что система в целом работает без перерывов. Тогда значения времени испытания и среднего времени испытания совпадут, а  $\chi$  будет равно единице, отсюда получаем:  $N = r$ .

Значение достаточного количества отказов принимается  $r > 500$  с минимальной предельной относительной ошибкой  $\varepsilon = 0,05$  и доверительной вероятностью  $0,95$ .

Для филиала Восточных электрических сетей ОАО «Иркутская электросетевая компания» общая протяженность линий электропередач составляет более 8,6 тыс. километров, а объём выборки для разных единиц оборудования изменяется от 456 до 72000. Таким образом, при расчёте основного количества показателей надёжности данной системы электроснабжения, будут получены значения с допустимой предельной ошибкой.

Выбор математической модели прогнозирования осуществляется с учётом корреляционной зависимости между последовательными уровнями ряда динамики, которая выражается коэффициентом автокорреляции:

$$r_1 = \frac{\sum_{t=2}^n (y_t - \bar{y}_1)(y_{t-1} - \bar{y}_2)}{\sqrt{\sum_{t=2}^n (y_t - \bar{y}_1)^2 \sum_{t=2}^n (y_{t-1} - \bar{y}_2)^2}}, \quad (3)$$

где

$$\bar{y}_1 = \frac{\sum_{t=2}^n y_t}{N-1}, \quad (4)$$

$$\bar{y}_2 = \frac{\sum_{t=2}^n y_{t-1}}{N-1}. \quad (5)$$

В этих выражениях  $y_t$  – ряд  $y_2, y_3, \dots, y_n$ ;  $y_{t-1}$  – ряд  $y_1, y_2, \dots, y_{n-1}$ ;  $N$  – общее число наблюдений (опытов).

Если полученное значение коэффициента автокорреляции меньше  $0,3$ , то значения ряда независимы между собой и используется вероятностная прогнозная модель.

Применение данной модели прогнозирования рассмотрено на примере выборки по отказам для причины «Повреждение проводов» в ОАО «ИЭСК». Рассчитанный коэффициент автокорреляции для этой модели равен  $0,093$ . Статистическая информация об отказах, произошедших, за пять лет, по причине повреждения проводов, представлена на рисунке 1.

Значения выборки подчиняются экспоненциальному закону распределения (рисунок 2), его адекватность проверена с помощью критерия согласия Пирсона. Расчётное значение критерия превышает табличное с вероятностью  $0,95$ :  $\chi^2_{расч.} = 2,304 > \chi^2_{табл.} = 1,64$ .

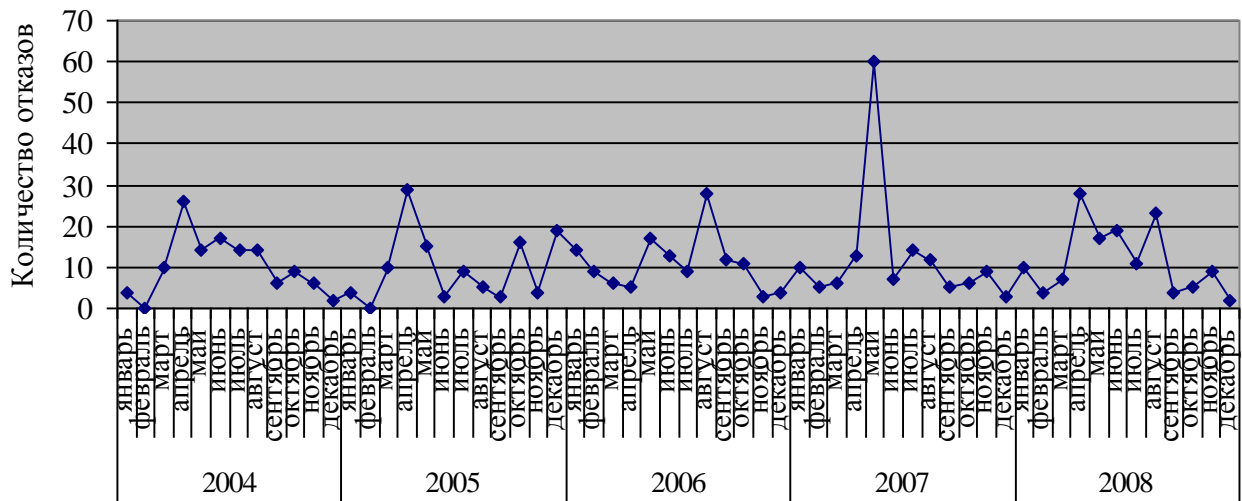


Рисунок 1 – Количество отказов по причине повреждения проводов (2004 – 2008 гг.)

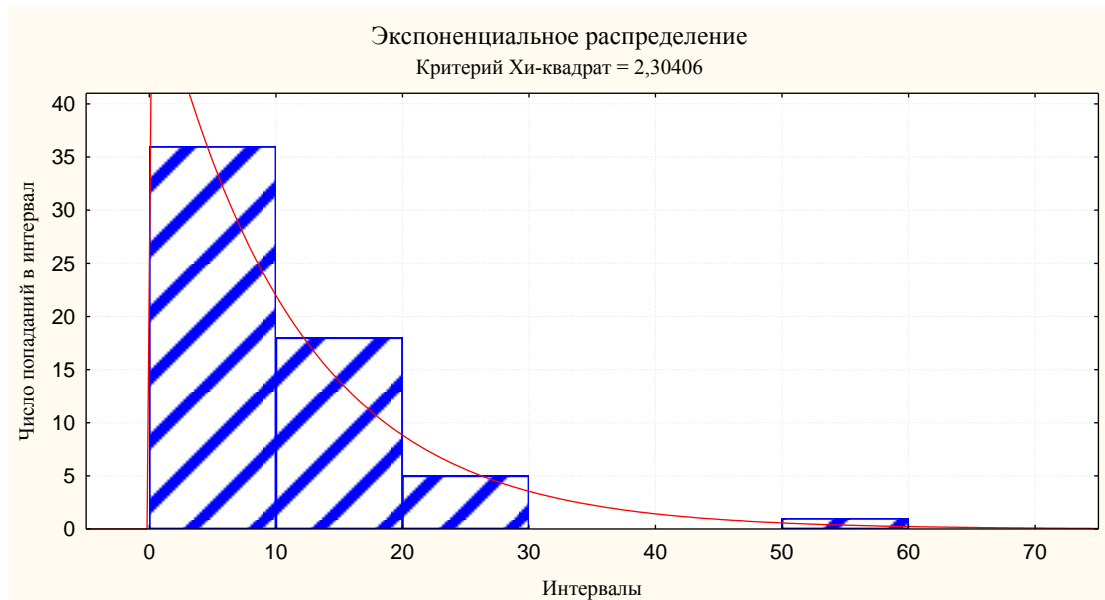


Рисунок 2 – Гистограмма с наложенной кривой функции плотности распределения отказов ВЛ 10 кВ (по причине повреждения проводов)

Данный закон описывается функцией плотности распределения, которая имеет следующий вид:

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}, \quad (6)$$

где  $\lambda$  – постоянная положительная величина (параметр распределения), определяемая по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{\bar{X}}, \quad (7)$$

где  $\bar{X}$  - среднее арифметическое, которое определяется по формуле:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}, \quad (8)$$



где  $x_i$  – значение случайной величины, наблюдаемое в  $i$ -ом опыте;  $N$  – общее число наблюдений.

Уровень безотказности для электроэнергетики, в соответствии с ГОСТ 27.002 - 89, задан при помощи значения гамма-процентного показателя (наработка до отказа, ресурса, срока службы, времени восстановления, срока сохраняемости) равного 90, 95, 99, 99,5 % . Условию точности и экономичности удовлетворяет показатель равный 95 %.

Закон распределения построен для месячного периода времени по данным за пятилетний период времени. Прогноз количества отказов находится для годового цикла. Основой прогноза служит нахождение квантиля с доверительной вероятностью 0,95 (рисунок 3).

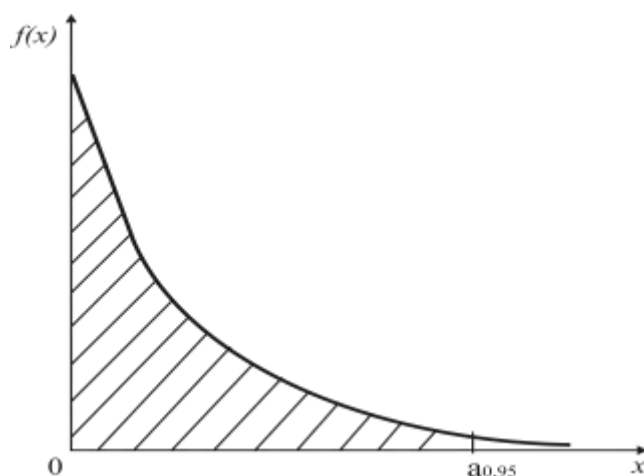


Рисунок 3 – Определение квантиля с доверительной вероятностью 0,95

На рисунке 3 заштрихованная площадь между кривой распределения и осями абсцисс и ординат, соответствует вероятности 0,95.

Вероятность безотказной работы электрооборудования представляется следующим выражением:

$$P = F(x) = \int_0^{a_{0,95}} f(x) dx, \quad (9)$$

где  $P$  – вероятность возникновения отказа;  $F(x)$  – функция распределения отказов;  $f(x)$  – функция плотности распределения вероятности;  $a_{0,95}$  – квантиль плотности распределения с доверительной вероятностью 0,95.

Нижняя граница интервала принята равной нулю. Расчётный уровень надёжности в 95%, соответствует вероятности  $P = 0,95$ . Решая уравнение (9) относительно неизвестной  $a_{0,95}$  получаем прогнозируемое значение отказов электрооборудования на месяц (с максимальным числом отказов) следующего года.

Решая совместно уравнения (9) и (6) с рассчитанным параметром  $\lambda = 0,091$  получаем уравнение для прогнозирования количества отказов ВЛ 10 кВ по причине повреждения проводов:

$$P = F(x) = \int_0^{a_{0,95}} 0,091 \cdot e^{-0,091x} dx = 0,95. \quad (10)$$

Поток отказов электрооборудования неоднозначен в течение года. В некоторых случаях разница между прогнозом и наблюдением в месяц может отличаться более чем в два раза, что приводит к недопустимой ошибке. Поэтому прогнозируемые значения принимаются для месяцев с максимальным процентным числом отказов. Для других месяцев прогноз рассчитывается из следующей пропорции:

$$\Pi = a_{0,95} \cdot \frac{r_{набл}, \%}{r_{max}, \%}, \quad (11)$$

где  $\Pi$  – корректируемое значение прогноза на месяц;  $r_{набл}, \%$  – количество отказов для рассчитываемого месяца, выраженное в процентах от общего годового;  $r_{max}$  – максимальное количество отказов в месяц в течение года, выраженное в процентах от общего годового, для рассматриваемого типа электрооборудования (рисунок 4).

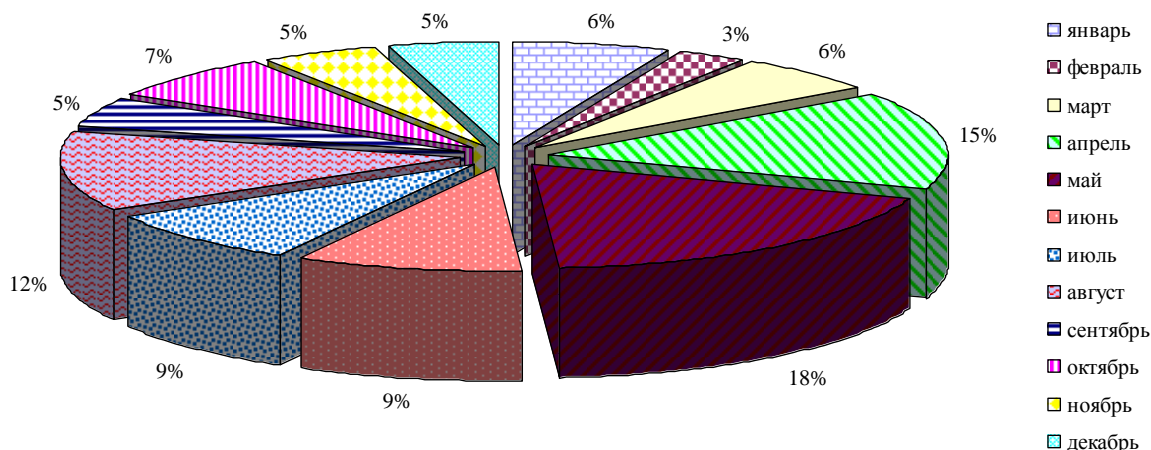


Рисунок 4 – Среднегодовое распределение отказов, связанных с повреждением проводов ВЛ 10 кВ по месяцам за пять лет (2004-2008 гг.), в %

Оценка точности прогноза осуществляется при помощи относительной ошибки прогноза:

$$W = \frac{t - t_n}{t} \cdot 100\%, \quad (12)$$

где  $t$  – значение отказов электрооборудования в месяц за прогнозируемый период;  $t_n$  – значение прогноза на месяц.

Разработанный алгоритм использован для получения прогнозной модели по отказам и восстановлением в ЛЭП 10 кВ на 2009 год. Данные прогноза сопоставимы с фактическими результатами числа отказов в рассматриваемых сетях. Так (по данным журнала аварийных отключений ОАО “ИЭСК”) фактическое значение отказов составило 160, прогнозное число отказов на год 176. Ошибка прогноза составила 10 %. В данном случае коэффициент автокорреляции не учитывался, поскольку он имеет очень низкое значение (0,093) и им можно пренебречь.

В случае если значение коэффициента автокорреляции находится в пределах  $0,3 \div 0,7$ , для повышения точности прогноза следует использовать метод ве-

роятностного прогнозирования с учётом автокорреляции значений выборки. При рассмотрении выборки по отказам для причины «Повреждение опор», коэффициент автокорреляции значений равен 0,406, его средняя квадратичная погрешность равна 0,109, следовательно, коэффициент автокорреляции значим.

Данная выборка также подчиняется экспоненциальному закону распределения, адекватность проверена с помощью критерия Пирсона.

Определим коэффициент вариации с учетом коэффициента автокорреляции первого порядка:

$$\tilde{v} = \frac{V}{\sqrt{1 - \frac{2r_1}{N(N-1)(1-r_1)} \left( N - \frac{1-r_1^N}{1-r_1} \right)}}, \quad (13)$$

где  $r_1$  – коэффициент автокорреляции первого порядка;  $N$  – длина выборки (60 наблюдений);  $V$  – коэффициент вариации, рассчитанный без учёта автокорреляции по формуле:

$$V = \frac{\sigma_{\bar{X}}}{\bar{X}}, \quad (14)$$

где  $\sigma_{\bar{X}}$  – среднее квадратическое отклонение (СКО) равно положительному значению корня квадратного из дисперсии:

$$\sigma_{\bar{X}} = \sqrt{D_{\bar{X}}}. \quad (15)$$

В свою очередь дисперсия определяется по выражению:

$$D_{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}{N}. \quad (16)$$

Из формулы (14) найдём значение среднего арифметического с учётом коэффициента автокорреляции:

$$\bar{X}_{r_1} = \frac{\sigma[X]}{\tilde{v}}, \quad (17)$$

При принятом экспоненциальном распределении параметр  $\lambda$ , с учётом автокорреляции:

$$\lambda_{r_1} = \frac{1}{\bar{X}_{r_1}}. \quad (18)$$

Решая совместно уравнения (18) и (6), получаем функцию плотности распределения:

$$f(x) = \lambda_{r_1} \cdot e^{-\lambda_{r_1} x} \quad (19)$$

На основании расчёта частот отказов построена гистограмма, на которой определена кривая распределения плотности вероятности возникновения отказов по причине повреждения опор ВЛ 10 кВ с учётом автокорреляции (рисунок 5). Адекватность данного закона для описания фактических данных подтверждена критерием Пирсона. Расчётное значение критерия превышает табличное с вероятностью 0,95:  $\chi^2_{расч.} = 2,282 > \chi^2_{табл.} = 2,17$ .

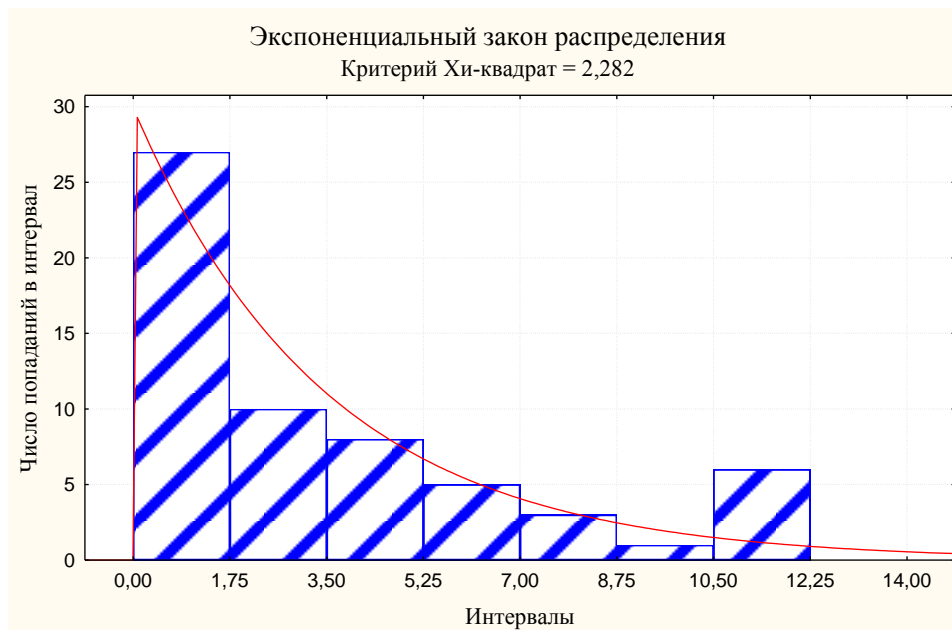


Рисунок 5 – Кривая распределения плотности вероятности возникновения отказов, связанных с повреждениями опор ВЛ 10 кВ с учётом коэффициента автокорреляции

С учётом автокорреляции получены следующие результаты: прогнозное число отказов на 2009 год равно 51, фактическое значение отказов 46.

Аналогичные прогнозные модели получены для следующих элементов: 1) разрядники; 2) изоляторы опор; 3) предохранители типа ПК-10; 4) предохранители типа ПН; 5) силовые выключатели; 6) трансформаторные подстанции.

Вышеописанные математические модели с учётом и без учёта автокорреляции были применены для прогнозирования числа отказов и времени восстановления ВЛ 10 кВ Карлук – Хомутово на 2009 год. Получены следующие результаты: прогноз числа отказов 17, фактическое значение 14. Прогноз времени восстановления 2496 минут, фактическое значение 2276 минут. Средняя ошибка прогноза до 10 %.

На примере данных по отказам и потерям напряжения ВЛ 10 кВ Карлук – Хомутово (в период с 2004 по 2008 гг.), получена корреляционно-регрессионная модель, позволяющая оценить влияние качества электроэнергии на уровень надёжности электроснабжения в рассматриваемой линии электропередачи. Она выражается следующей зависимостью:

$$r = -4,982 + 1,437\Delta U, \quad (20)$$

где  $r$  – количество отказов;  $\Delta U$  – величина потерь напряжения.

Коэффициент корреляции  $r_{xy} = 0,987$ . Это говорит о весьма высокой силе связи между рассматриваемыми величинами (по шкале Чеддока). Коэффициент детерминации  $r_{xy}^2 = 0,974$ . Полученное значение показывает долю вариации результативного признака  $r$  (количество отказов) под влиянием факторного признака  $\Delta U$  (величина потерь напряжения).

На статистическую значимость уравнение проверено по критерию Стьюдента. Расчётное значение которого  $t_k = 10,74$  сравниваем с табличным значе-

нием  $t_{fa} = 7,453$ , так как  $t_k > t_{fa}$ , то коэффициент регрессии при факторе  $\Delta U$  существенно больше нуля, а фактор величины потерь напряжения оказывает существенное влияние на количество отказов ВЛ и полученное уравнение статистически значимо.

Аналогичная проверка сделана по критерию Фишера и получено его значение  $F_k = 115,347$ . Сравнив с табличным  $F_{f_1, f_2, a} = 10,13$ , получили  $F_k > F_{f_1, f_2, a}$ , следовательно, уравнение статистически значимо.

Полученная зависимость линейная и положительная, то есть с увеличением величины потерь напряжения число отказов линейно возрастает. В таблице 1 представлены результаты использования полученной корреляционно-регрессионной однофакторной модели.

Таблица 1 – Результаты прогнозирования числа отказов ВЛ 10 кВ: Карлук-Хомутово с помощью регрессионной модели и разница между расчётными и фактическими значениями

Год	Величина потерь напряжения для ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово, в % (фактическая)	Количество отказов ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово (фактическое)	Количество отказов ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово (расчётное)	Разница между фактическими и расчётными значениями	
2004	7	6	5	1	
2005	15	17	16	1	
2006	15	17	16	1	
2007	12	11	12	-1	
2008	8	6	6	0	
Год	Прогноз величины потерь напряжения для ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово, в %	Количество отказов ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово (фактическое)	Прогноз количества отказов ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово	Разница между фактическим и прогнозным значением количества отказов	Ошибка прогноза (W), в %
2009	11	14	11	3	19

В третьей главе «Программное обеспечение для прогнозирования оценки уровня надёжности электроснабжения» приведено описание программы «Прогноз – 2+» и её применение на основе данных ОАО «ИЭСК» для прогнозирования уровня надёжности электроснабжения.

При разработке ПО «Прогноз – 2+» использованы рассмотренные во второй главе математические модели прогнозирования уровня надёжности электроснабжения. Алгоритм программы представлен на рисунке 6.

Программа «Прогноз – 2+» написана на языке Delphi версии 7 фирмы Borland. Версия программы 1.0.

Использование программы позволяет оценить перспективное функциональное состояние рассматриваемого участка системы электроснабжения на основании имеющейся информации о количестве отказов, времени восстановления, а также уровне качества электрической энергии.

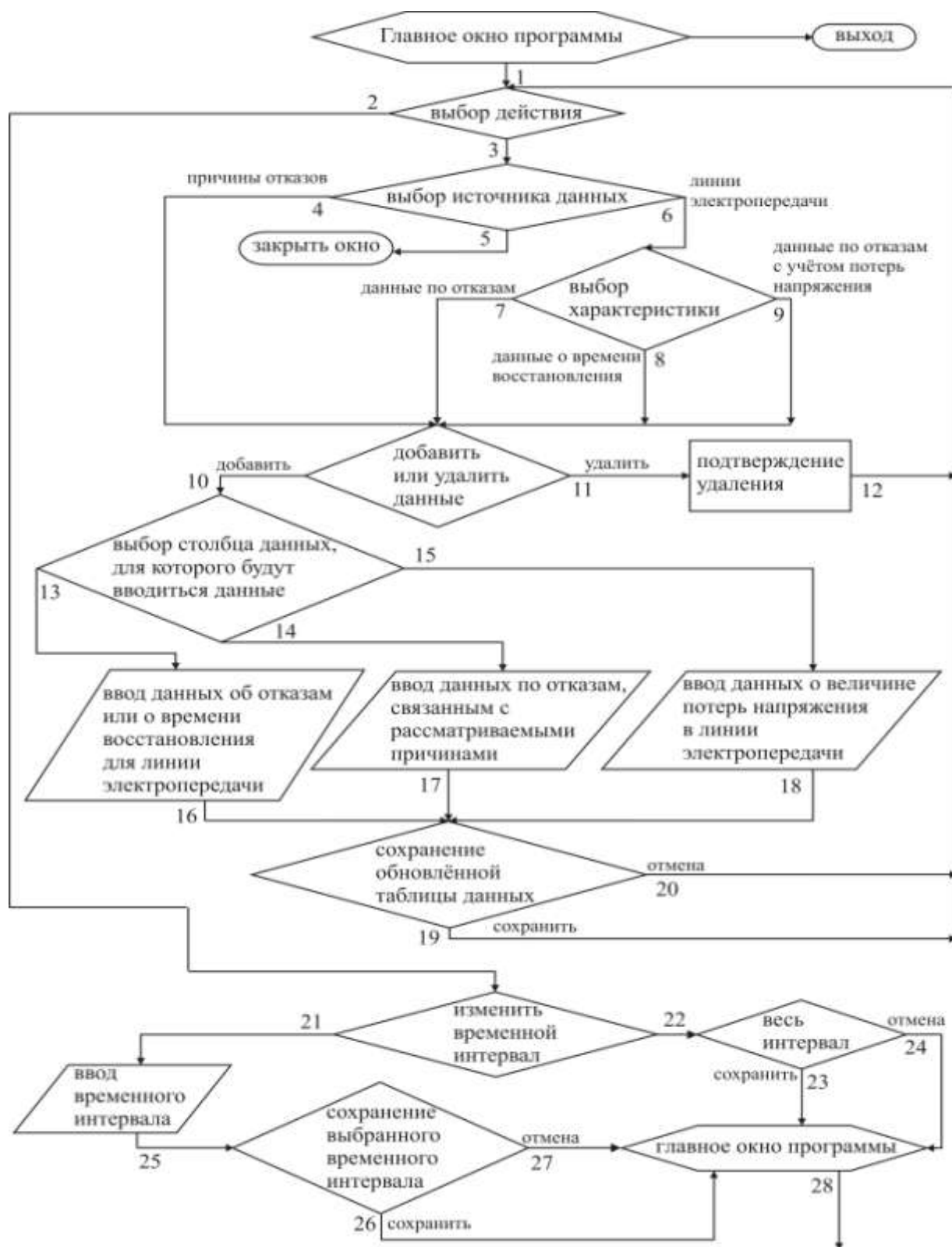


Рисунок 6 – Алгоритм работы программного обеспечения «Прогноз – 2+» (начало)

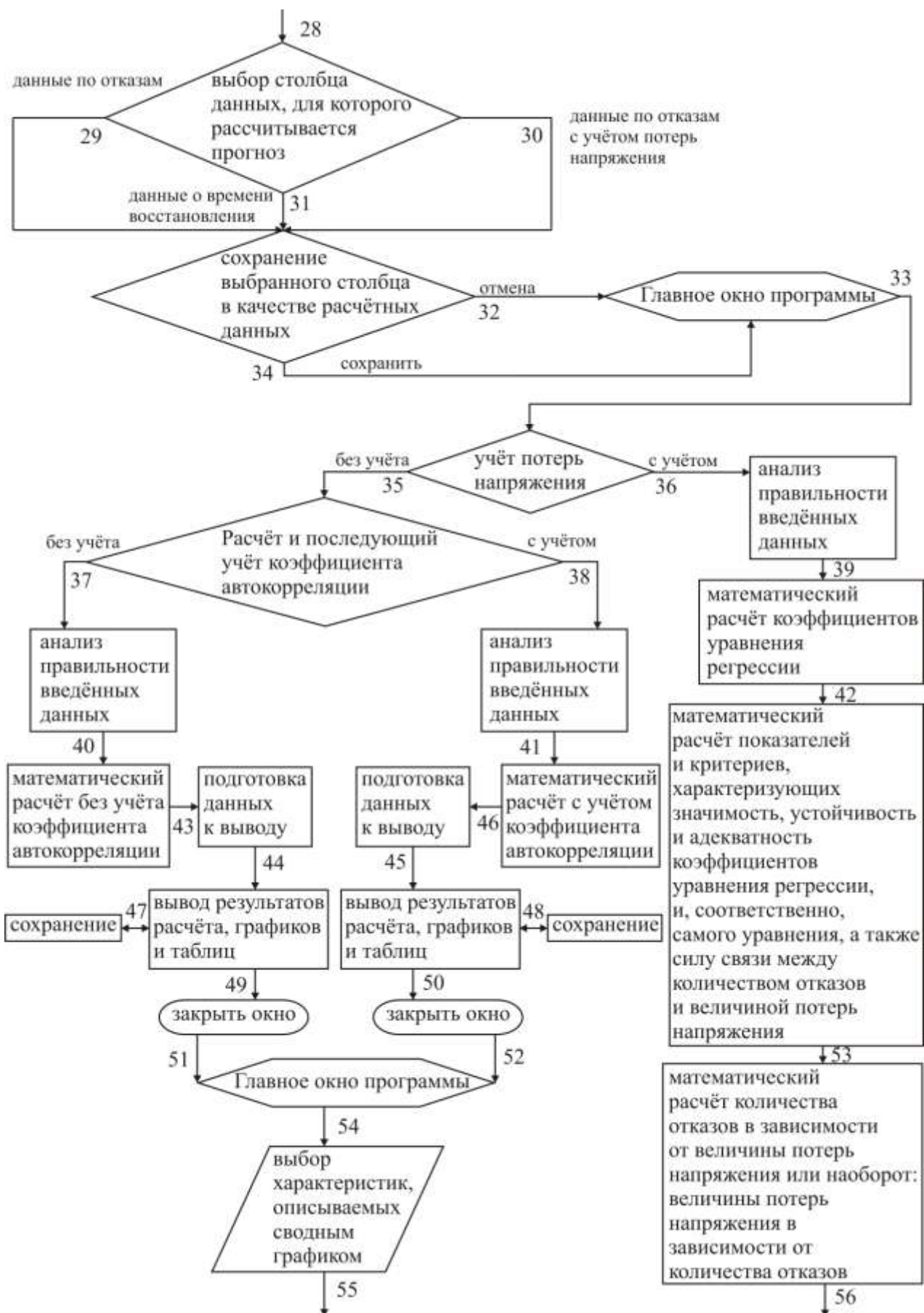


Рисунок 6 – Алгоритм работы программного обеспечения «Прогноз – 2+» (продолжение)

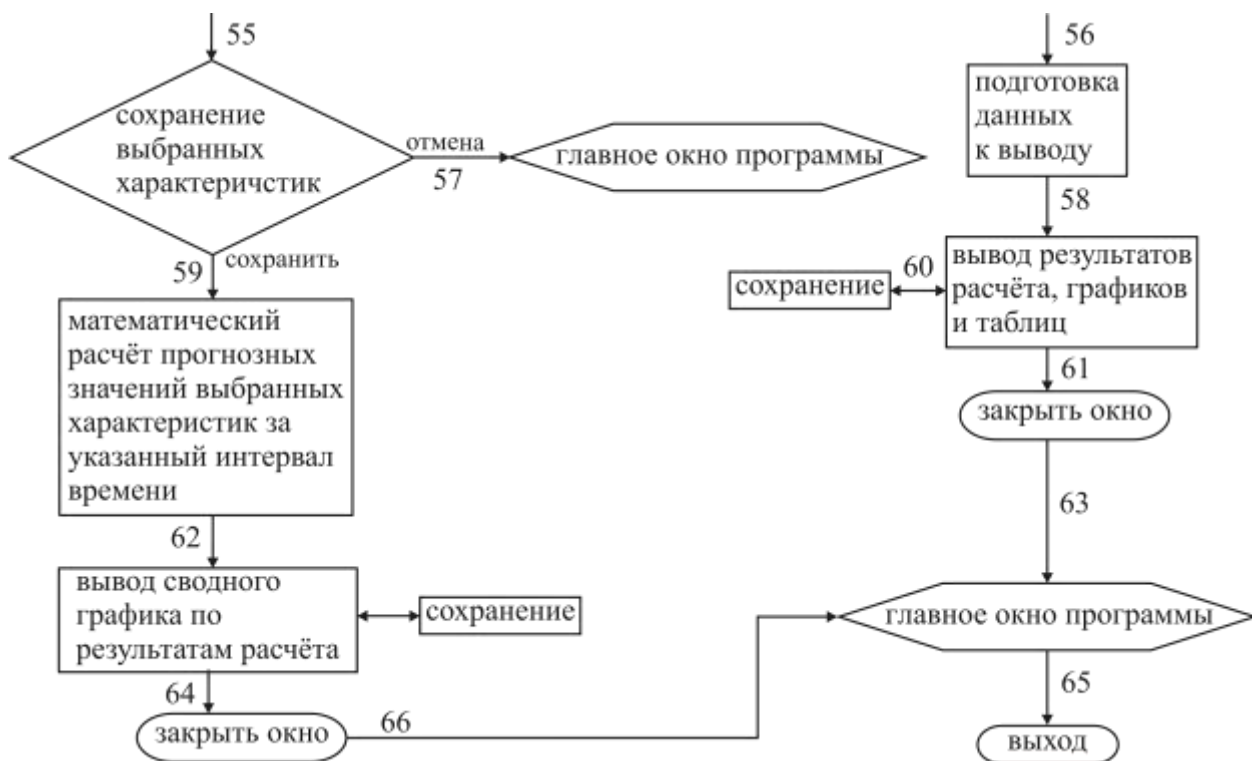


Рисунок 6 – Алгоритм работы программного обеспечения «Прогноз – 2+» (окончание)

В главном окне программы (рисунок 7) предоставлена возможность для выбора одного из следующих действий при работе с программой: 1) редактирование исходных данных; 2) выбор прогнозируемой причины отказа; 3) выбор интервала, на основании которого строится прогноз; 4) построение прогноза количества отказов с учётом информации о величине потерь напряжения; 5) вывод сводного результата прогнозирования для нескольких причин.

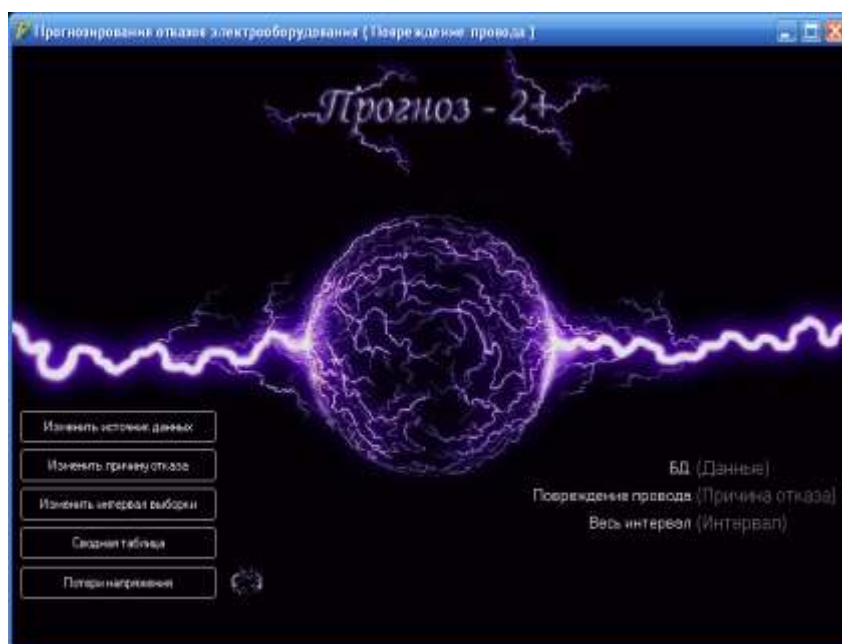


Рисунок 7 – Главное окно программы



На рисунках 8 и 9 представлены результаты прогнозирования числа отказов для причины «Повреждение опор» (рисунок 8) и на основании информации о величине потерь напряжения (рисунок 9). Коэффициент корреляции равен 0,987.



Рисунок 8 – Окно вывода результатов прогнозирования для причины «Повреждение опор» с учётом автокорреляции значений выборки



Рисунок 9 – Окно вывода результатов прогнозирования числа отказов, на основании информации о величине потерь напряжения в линии электропередачи

Аналогичные результаты получены для прогнозирования времени восстановления ВЛ 10 кВ.

Необходимо отметить, что полученные с помощью программы «Прогноз – 2+» результаты прогнозирования совпадают со значениями, рассчитанными во второй главе.

**В четвёртой главе** «*Экономическое обоснование применения ПО «Прогноз – 2+» в процессе организационно-технического обслуживания сельских распределительных электрических сетей*» рассчитано технико-экономическое обоснование внедрения программы «Прогноз – 2+» для улучшения методики комплектования запаса электрооборудования в ОАО «ИЭСК».

Использование разработанной программы для прогнозирования числа отказов и запаса электрооборудования в электрических сетях 10 кВ позволит получить прибыль в размере 208064 рублей. При этом чистая текущая стоимость проекта  $NPV_t$  составляет -15018 рублей. Когда показатель  $NPV_t$  приобретает положительное значение, достигается дисконтированная окупаемость проекта.

### **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ**

1. В результате проведённого анализа методов прогнозирования уровня надёжности электроснабжения сельского хозяйства установлено, что наиболее точным является метод вероятностного прогнозирования.

2. На основании анализа информации об отказах элементов электрических сетей и причин их возникновения, выполнена классификация и построены прогнозные модели с учётом (и без учёта) автокорреляции, а также законы распределения вероятностей отказов для различных причин.

3. Разработанная вероятностная модель прогнозирования уровня надёжности электроснабжения апробирована в электрических сетях ВЭС ОАО «ИЭСК». Средняя ошибка прогноза в сравнении с фактическими данными не превышает 10 %.

4. Полученная корреляционно-регрессионная модель взаимосвязи показателей надёжности электроснабжения с изменяющимся уровнем качества электрической энергии позволяет с достоверной вероятностью 0,95 прогнозировать количество отказов.

5. На основании разработанного метода прогнозирования получен алгоритм и создана компьютерная программа «Прогноз – 2+», позволяющая оценивать уровень функционирования элементов и всей электрической сети в целом на отдалённую перспективу.

6. Использование разработанной программы для прогнозирования числа отказов и запаса электрооборудования в электрических сетях 10 кВ позволило получить прибыль в размере 208064 рублей. При этом чистая текущая стоимость проекта  $NPV_t$  составляет -15018 рублей.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

### Научные публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Наумов И.В. Анализ уровня надёжности сельских распределительных электрических сетей напряжением 10 кВ (на примере филиала Восточных электрических сетей ОАО «ИЭСК») [Текст] / И.В. Наумов, **А.В. Ланин** // Вестник ИрГСХА. – Иркутск, 2010. – Вып. 40. – С. 115-120.

2. Наумов И.В. Прогнозирование отказов сельских распределительных сетей напряжением 10 кВ (на примере филиала Восточных электрических сетей ОАО «ИЭСК») [Текст] / И.В. Наумов, **А.В. Ланин** // Вестник АлтГАУ. – Барнаул, 2011. – Вып. 1. – С. 86-91.

3. Наумов И.В. Математическая модель прогнозирования уровня надёжности электроснабжения в электрических сетях 10 кВ [Текст] / И.В. Наумов, **А.В. Ланин**, В.Н. Ерин // Вестник АлтГАУ. – Барнаул, 2011. – Вып. 8. – С. 88-91.

### Регистрация программы для ЭВМ

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011618014 от 12.10.2011 г. Прогноз – 2+ [Текст] / **Ланин А.В.**, Наумов И.В.; заявители и правообладатели Ланин А.В., Наумов И.В.; заявка №2011616163 от 12.08.2011 г.

### Другие научные публикации

5. Ланин А.В. Методы прогнозирования отказов электроснабжения сельских распределительных электрических сетей [Текст] / **А.В. Ланин** // Научные достижения производству: материалы научно-практической конференции молодых ученых Сибири и Дальнего Востока, Иркутск, 25 марта 2009 г. – Иркутск: Издательство ИрГСХА, 2009. – С. 115-118.

6. Наумов И.В. Резервирование, как способ повышения уровня надёжности электроснабжения сельских потребителей [Текст] / И.В. Наумов, **А.В. Ланин** // Чтения И.П. Терских: материалы II-го регионального научно-производственного семинара, Иркутск, 24-26 сентября 2009 г. – Иркутск: Издательство ИрГСХА, 2009. – Вып. 36. – С. 63-68.

7. Наумов И.В. Моделирование функционального состояния сельских электрических сетей 10 кВ Иркутской области на основе прогнозирования уровня надёжности электроснабжения [Текст] / И.В. Наумов, **А.В. Ланин** // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: сборник трудов шестой всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Благовещенск, 25-27 мая 2011 г. – Благовещенск: Издательство АмГУ, 2011. – Том 2. – С. 393-397.

Лицензия на издательскую деятельность ЛР № 070444 от 11.03.98

Подписано в печать 11.01.2011 г. Формат 60×80 1/16

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз.

Издательство Иркутской государственной сельскохозяйственной академии  
664038, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный