

# ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА



УДК 621.311.1-192(571.53-25)

**И.В. Наумов,  
А.В. Ланин**

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 кВ (НА ПРИМЕРЕ ФИЛИАЛА ВОСТОЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОАО «ИЭСК»)

**Ключевые слова:** прогнозирование, надёжность, электрические сети, воздушные линии электропередачи, провода, отказы, обслуживание, ошибка прогноза.

Одним из определяющих факторов уровня надёжности электроснабжения является надёжность элементов электрических сетей, которая характеризуется следующими показателями:

- частота отказов;
- среднее время восстановления;
- частота преднамеренных отключений;
- время преднамеренных (плановых) отключений.

Сбор и статистическая обработка данных по отказам элементов позволяет получить прогнозные модели развития конкретной системы электроснабжения.

Традиционно наиболее ненадёжным звеном в системе электроснабжения являются воздушные распределительные сети 10(6) кВ. Около 70% всех нарушений электроснабжения происходит именно в сетях данного класса напряжения [1].

Статистические данные по аварийным отключениям в Иркутской области за 2009 г. свидетельствуют, что в результате повреждения изоляторов, разрядников воздушных линий (ВЛ) 10 кВ, разрушения опор и воздействия погодных факторов недоотпуск электроэнергии составил 1769758,6 кВт·ч, то есть 76% от общего недоотпуска электроэнергии [2].

Одним из способов повышения качества обслуживания распределительных сетей является разработка математической модели прогнозирования отказов ВЛ, которая позволит с достаточной степенью вероятности предсказать, насколько ус-

тойчивым будет функционирование отдельных элементов электрической сети. На основании полученной информации можно предложить ряд конкретных мероприятий организационно-технического характера, превентивно влияющих на повышение уровня надёжности электроснабжения рассматриваемых электрических сетей.

В результате осуществлённого анализа нами было установлено, что наиболее эффективным математическим аппаратом является модель вероятностного прогнозирования. Данную модель можно представить в виде алгоритма, состоящего из следующих этапов:

- 1) сбор и анализ отчётной статистической информации об отказах распределительных сетей 10 кВ за предыдущие годы;
- 2) классификация информации об отказах по элементам, входящим в состав сети;
- 3) подбор законов плотности распределения вероятности для каждого из элементов на основе априорной информации;
- 4) проверка соответствия выбранного теоретического закона распределения эмпирическому распределению;
- 5) выражение подобранного закона распределения в виде определённого интеграла;
- 6) решение интеграла, через нахождение квантиля с доверительной вероятностью  $P = 0,95$ , полученный ответ является прогнозом на месяц с максимальным числом отказов;
- 7) расчёт процентного распределения отказов элемента сети по месяцам года;
- 8) расчёт прогноза на каждый месяц будущего года и, соответственно, на год в целом;

9) расчёт ошибки прогноза.

В качестве примера представленной модели прогнозирования рассмотрим данные по отказам распределительных сетей 10 кВ, которые обслуживаются «Иркутской электросетевой компанией» (ИЭСК). Пример рассматривается для одной из причин отказов: обрыв и схлёстывание проводов.

Статистическая информация об отказах, произошедших за пять лет по причине обрыва и схлёстывания проводов, представлена в таблице 1.

Аналогичные таблицы можно составить и для других элементов (разрядников, предохранителей, изоляторов) распределительных сетей 10 кВ.

С помощью программы Statistica 6.0, всё количество отказов, произошедшее с 2004 по 2008 гг., разбивается на четырнадцать интервалов, и рассчитываются наблюдаемые частоты и наблюдаемые кумулятивные частоты попадания данных в интервалы разбиения (табл. 2).

По данным таблицы 2 в программе Statistica 6.0 строится гистограмма: по оси абсцисс откладываются интервалы, и на каждом из интервалов строится прямоугольник, высота которого равна частоте попаданий в данный интервал. Плавная кривая, ограничивающая гистограмму, представляет собой график плотности распределения  $f(X)$  отказов по причине повреждения проводов ВЛ 10 кВ.

На основе использования программы Statistica 6.0, был подобран закон распределения, наиболее адекватно описывающий эмпирическое распределение. На адекватность закон проверяется с помощью критерия согласия Хи-квадрат.

Таблица 1

Количество аварийных отключений по причине повреждения проводов (2004-2008 гг.)

Месяцы	Количество аварийных отключений по причине повреждения проводов				
	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
1	4	4	14	10	10
2	0	0	9	5	4
3	10	10	6	6	7
4	26	29	5	13	28
5	14	15	17	60	17
6	17	3	13	7	19
7	14	9	9	14	11
8	14	5	28	12	23
9	6	3	12	5	4
10	9	16	11	6	5
11	6	4	3	9	9
12	2	19	4	3	2

Наблюдаемые частоты и наблюдаемые кумулятивные частоты попадания данных в интервалы разбиения

№ интервала	Количество отказов	Набл. частота	Набл. кумулят.	Набл., %	Набл. кумул., %
1	≤ 5	19	19	31,66667	31,6667
2	6-10	17	36	28,33333	60,0000
3	11-15	12	48	20,00000	80,0000
4	16-20	6	54	10,00000	90,0000
5	21-25	1	55	1,66667	91,6667
6	26-30	4	59	6,66667	98,3333
7	31-35	0	59	0,00000	98,3333
8	36-40	0	59	0,00000	98,3333
9	41-45	0	59	0,00000	98,3333
10	46-50	0	59	0,00000	98,3333
11	51-55	0	59	0,00000	98,3333
12	56-60	1	60	1,66667	100,0000
13	61-65	0	60	0,00000	100,0000
14	> 65	0	60	0,00000	100,0000

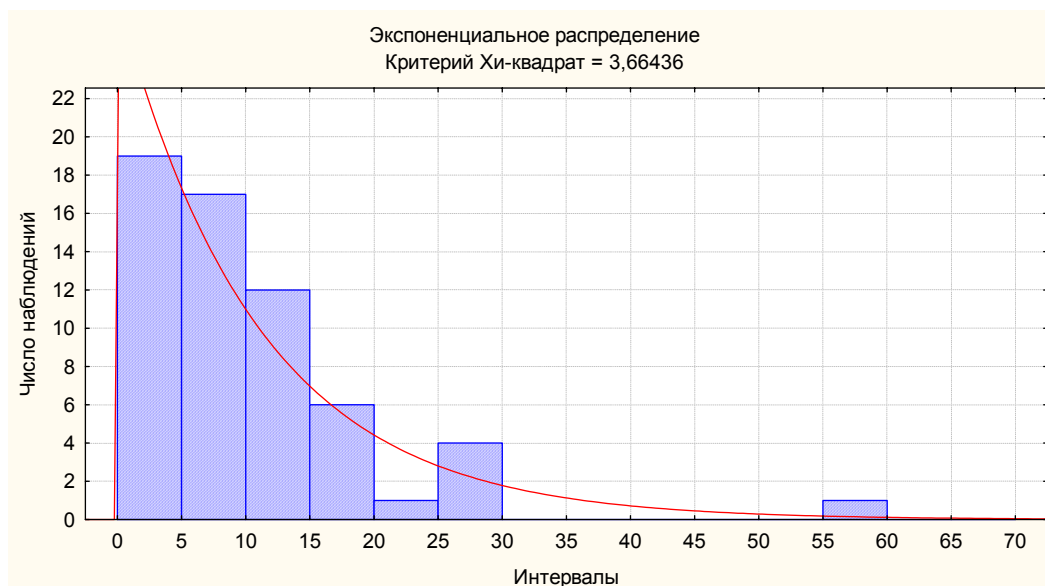


Рис. 1. Гистограмма с наложенной теоретической функцией плотности распределения вероятности отказов ВЛ 10 кВ

В данном случае наилучшим показателем Хи-квадрат обладает экспоненциальный закон распределения ( $\chi^2 = 3,664$ ). Данный закон описывается функцией плотности распределения вероятности, которая имеет следующий вид:

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – параметр потока отказов.

Наиболее оптимальным параметром распределения будет являться  $\lambda = 0,091$  [3].

Закон распределения подобран для периода с 2004 по 2008 гг., разбитого по месяцам. Прогноз построен для 2009 г., поскольку имеются реальные данные о

количестве отказов, произошедших в 2009 г., сравнение их с полученными прогнозными данными позволит определить ошибку прогнозирования.

Основой прогноза служит нахождение квантиля с доверительной вероятностью 0,95. Для этих целей предложено применение математического аппарата интегрирования, суть которого представлена на рисунке 2.

На рисунке 2 заштрихованная площадь между кривой распределения и осями абсцисс и ординат соответствует вероятности 0,95. Необходимо определить квантиль  $a_{0,95}$ .

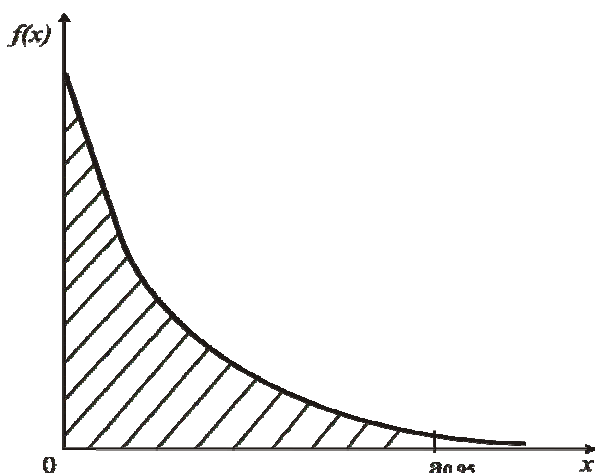


Рис. 2. Определение квантиля с доверительной вероятностью 0,95

Вероятность безотказной работы электрооборудования представляется следующим выражением [4]:

$$P = F(x) = \int_0^{a_{0,95}} f(x) dx, \quad (2)$$

где  $P$  – вероятность возникновения отказа;

$F(x)$  – функция распределения отказов;

$f(x)$  – функция плотности распределения вероятности.

Нижняя граница интервала принята равной нулю, т.к. вероятность появления отрицательного отказа равна нулю. Расчётный уровень надёжности 95% соответствует вероятности  $P = 0,95$ . Решая уравнение (2) относительно неизвестной  $a_{0,95}$ , получаем прогнозируемое значение отказов электрооборудования на месяц (с максимальным числом отказов) следующего года.

Подставим в уравнение (2) правую часть уравнения (1) с параметром  $\lambda = 0,091$  и получим уравнение для прогнозирования отказов ВЛ 10 кВ по причине повреждения проводов:

$$P = F(x) = \int_0^{a_{0,95}} 0,091 \cdot 2,71^{-0,091 x} dx = 0,95. \quad (3)$$

Поток отказов электрооборудования неоднозначен в течение года, т.е. в разные месяцы года количество отказов может отличаться в разы. Если пользоваться выражением (3), то данные по отказам электрооборудования, полученные в ходе прогнозирования, на практике не будут превышены с вероятностью в 95% для любого месяца года. В некоторых случаях разница между прогнозом и наблюдением в месяц может отличаться более чем в два раза, что приводит к недопустимой

ошибке. Поэтому принимаем прогнозируемые значения для месяцев с максимальным процентным числом отказов. Для других месяцев прогноз рассчитывается из следующей пропорции [5]:

$$\Pi = a_{0,95} \cdot \frac{r_{набл}, \%}{r_{max}, \%}, \quad (4)$$

где  $\Pi$  – корректируемое значение прогноза на месяц;

$a_{0,95}$  – квантиль плотности распределения с доверительной вероятностью 0,95 (прогноз на месяц, с максимальным числом отказов, следующего года);

$r_{набл}, \%$  – количество отказов для рассматриваемого месяца, выраженное в процентах от общего годового;

$r_{max} = 18,6646\%$  – максимальное количество отказов в месяц в течение года, выраженное в процентах от общего годового, для рассматриваемого типа электрооборудования (табл. 3).

Таблица 3

Среднее годовое распределение отказов проводов ВЛ 10кВ по месяцам за пять лет (2004-2008 гг.), %

Месяцы	Среднее годовое распределение отказов проводов ВЛ 10кВ по месяцам за пять лет (2004-2008 гг.), %
1	6,37329
2	2,73141
3	5,91806
4	15,3263
5	18,6646
6	8,95296
7	8,64947
8	12,4431
9	4,55235
10	7,13202
11	4,7041
12	4,55235
Всего за год	100

Оценка точности прогноза осуществляется при помощи относительной ошибки прогноза, которая определяется в соответствии с выражением:

$$W = \frac{t - t_n}{t} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $t$  – значение отказов электрооборудования в месяц за прогнозируемый период;

$t_n$  – значение прогноза на месяц.

Прогнозные значения и ошибка прогноза

Месяцы года	Прогноз количества отказов по причине повреждения проводов ВЛ 10 кВ	Реальное количество отказов по причине повреждения проводов ВЛ 10 кВ	Разница	Ошибка прогноза (W), %
1	11	1	10	-1000
2	5	3	2	-66,667
3	10	6	4	-66,667
4	27	20	7	-35
5	33	37	-4	10,8108
6	16	13	3	-23,077
7	15	11	4	-36,364
8	22	11	11	-100
9	8	32	-24	75
10	13	3	10	-333,33
11	8	6	2	-33,333
12	8	17	-9	52,9412
<b>Всего за год</b>	<b>176</b>	<b>160</b>	<b>16</b>	<b>-10</b>

После использования данного алгоритма нами были получены прогнозные значения на каждый месяц 2009 г., а также подсчитана ошибка прогноза, с помощью сравнения прогнозных значений и реальных данных по отказам проводов ВЛ-10 кВ за 2009 г., результаты представлены в таблице 4 [6]. Знак минус в столбце «Ошибка прогноза» присутствует в тех строках, где прогнозные значения превышают реальные.

#### Выводы

Рассмотрев прогнозные значения и ошибку прогноза, можно отметить, что использование предложенного алгоритма для прогнозирования на месяц неприемлемо, так как ошибка в этом случае очень высокая, в среднем более 50%. Но если осуществлять прогноз на год в целом, то ошибка незначительна и составляет всего 10%. Таким образом, данный алгоритм можно использовать при составлении годовых и среднесрочных прогнозов. На основании предсказанной информации можно разработать более качественную систему мероприятий организационно-технического характера, превентивно влияющих на повышение уровня надёжности электроснабжения рассматриваемых электрических сетей, а также обосновать необходимое и достаточное количество запасных частей.

#### Библиографический список

1. Основные концептуальные подходы к реконструкции и техническому пере-

вооружению электрических сетей // Программа технического перевооружения электрических сетей РАО «ЕЭС России» на 2001-2005 гг. – М.: Департамент электрических сетей РАО «ЕЭС России», ОАО «РОСЭП», 2000.

2. Наумов И.В. Анализ уровня надёжности сельских распределительных электрических сетей напряжением 10 кВ (на примере филиала восточных электрических сетей ОАО «ИЭСК») / И.В. Наумов, А.В. Ланин // Вестник ИрГСХА. – 2010. – № 40. – С. 115.

3. Боровиков В.П. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде WINDOWS. Основы теории и интенсивная практика на компьютере: учеб. пособие / В.П. Боровиков, Г.И. Ивченко. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 384 с.

4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и её инженерные приложения: учебное пособие для студ. вузов / Е.С. Вентцель, Л.А. Очаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – М: Академия, 2003 – 464 с.

5. Микрюков Д.Н. Модель прогноза отказов электрооборудования / Д.Н. Микрюков // Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава Рязанской ГСХА – Рязань, 2006. – С. 314.

6. Журнал аварийных отключений филиала восточных электрических сетей ОАО «Иркутская электросетевая компания». – 2009. – 192 с.