



УДК 621.311-192:621.316.1:519.873

**И.В. Наумов,
А.В. Ланин,
В.Н. Ерин**

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10 кВ

Ключевые слова: модель, прогнозирование, надёжность, электрические сети, воздушные линии электропередачи, коэффициент автокорреляции, отказы, ошибка прогноза.

Уровень надёжности электроснабжения зависит от того, насколько эффективно и своевременно происходят обслуживание и ремонт электрических сетей. Это особенно важно для сетей с достаточно большой протяженностью, какими являются ВЭС. В качестве одного из способов повышения уровня надёжности нами предложена разработка математической модели прогнозирования отказов любой воздушной линии 10 кВ.

Использование данной модели позволит получить информацию о будущем функциональном состоянии воздушных линий напряжением 10 кВ, что даст возможность разработать более качественную и своевременную совокупность мероприятий по обслуживанию электрических сетей.

Иркутская электросетевая компания включает в себя пять филиалов:

- Восточные электрические сети (ВЭС);
- Западные электрические сети (ЗЭС);
- Южные электрические сети (ЮЭС);
- Северные электрические сети (СЭС);
- Центральные электрические сети (ЦЭС).

Для исследования функционального состояния сетей нами рассмотрен филиал ВЭС г. Иркутска. Большую часть нагрузки ВЭС составляют сельские районы, что обуславливает значительную протяженность распределительных сетей при относительно небольшом потреблении элек-

трической энергии и высокой социальной значимости филиала для жизни региона. Основной задачей ВЭС является надежное бесперебойное электроснабжение населения, объектов социальной сферы, предприятий и организаций. Общая протяженность линий электропередачи ВЭС – более 8,6 тыс. км. ВЭС имеет 52 подстанции напряжением 110-35 кВ и суммарной установленной трансформаторной мощностью 731МВА. В настоящее время в филиале трудится более 500 рабочих и специалистов. Годовая передача электроэнергии по электросетям ВЭС составляет 1,353 млн кВт·ч, ежегодный прирост потребления электроэнергии – 5% в основном за счет увеличения бытовых нагрузок [1].

Получение и последующее использование математической модели прогнозирования отказов воздушной линии рассмотрим на примере ВЛ 10 кВ, соединяющей посёлок Карлук с посёлком Хомутово. Отчётная информация об отказах данной линии за пять лет (2004-2008 гг.) взята из диспетчерских журналов Иркутской электросетевой компании и представлена в таблице 1 [2].

Выбор математической модели прогнозирования основывается на оценке её качества, которое в свою очередь зависит от адекватности модели исследуемому процессу и точности. Адекватность подразумевает учёт определённых статистических свойств, а точность выражается близостью модели к фактическим данным. Таким образом, модель прогнозирования считается адекватной, если она учитывает существенную закономерность исследуемого процесса, в ином случае её нельзя применять для анализа и прогнози-

рования. Закономерность исследуемого процесса может выражаться зависимостью между значениями ряда, описывающего данный процесс; в ином случае уровни (значения) ряда могут быть независимыми друг от друга, то есть носить случайный характер. Для ряда с зависимыми значениями используются модели прогнозной экстраполяции, для второго случая применяется модель вероятностного прогнозирования.

Таблица 1
Количество аварийных отключений
ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово
(2004-2008 гг.)

Месяцы	Годы				
	2004	2005	2006	2007	2008
1	0	0	0	0	2
2	0	0	0	0	0
3	1	5	1	0	0
4	1	0	0	0	0
5	1	1	4	2	0
6	1	3	1	0	1
7	1	1	1	1	0
8	3	1	2	1	3
9	1	0	2	4	0
10	0	3	6	1	0
11	0	1	0	2	0
12	0	2	1	0	0

Таким образом, чтобы подобрать качественную модель, необходимо определить, зависимы ли значения выборки между собой (табл. 1). Количественно такую зависимость можно измерить с помощью использования линейного коэффициента корреляции между уровнями (значениями) исходного временного ряда и уровнями этого ряда, сдвинутыми на несколько шагов во времени (коэффициента автокорреляции) [3]:

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

Таблица 2
Наблюдаемые частоты и наблюдаемые кумулятивные частоты попадания данных в интервалы разбиения

№ интервала	Количество отказов	Наблюдаемая частота попадания в интервал	Наблюдаемая кумулятивная частота попадания в интервал	Наблюдаемая частота попадания в интервал, %	Наблюдаемая кумулятивная частота попадания в интервал, %
1	≤ 0,857	28	28	46,66667	46,6667
2	0,858-1,714	18	46	30,00000	76,6667
3	1,715-2,571	6	52	10,00000	86,6667
4	2,572-3,428	4	56	6,66667	93,3333
5	3,429-4,285	2	58	3,33333	96,6667
6	4,286-5,142	1	59	1,66667	98,3333
7	5,143-6	1	60	1,66667	100,0000

$$\text{где } \bar{y}_1 = \frac{\sum_{t=2}^n y_t}{N-1}; \bar{y}_2 = \frac{\sum_{t=2}^n y_{t-1}}{N-1} \quad (2)$$

В выражениях (2) y_t – ряд y_2, y_3, \dots, y_n ; y_{t-1} – ряд y_1, y_2, \dots, y_{n-1} ; $n = N -$ общее число наблюдений (опытов).

Применяя формулы (1-2) для исходных данных, получаем коэффициент автокорреляции $r_1 = -0,065483668$ (табл. 1). Сравнив его расчётное значение r_1 с табличным $r_{1\tau}$, получили $r_1 \leq r_{1\tau}$, следовательно, уровни динамического ряда независимы. Данный результат позволяет нам использовать модель вероятностного прогнозирования, пошаговое использование которой описано далее.

Применяя формулу Стерджеса, определим число интервалов, на которые разбивается выборка по аварийным отключениям [4]:

$$k = 1 + 3,322 \cdot \lg N, \quad (3)$$

где k – число интервалов (разрядов);

N – число наблюдений (для нашего случая $N = 60$).

В результате расчёта $k = 7$.

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

По данным таблицы 2 в программе Statistica 6.0 нами построена гистограмма распределения вероятности отказов (рис.).

Плавная кривая, ограничивающая гистограмму, представляет собой график плотности распределения $f(X)$ отказов ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово, представленный на рисунке.

Затем подобран закон распределения, наиболее адекватно описывающий эмпирическое распределение. На адекватность закон проверяется с помощью критерия согласия Хи-квадрат.

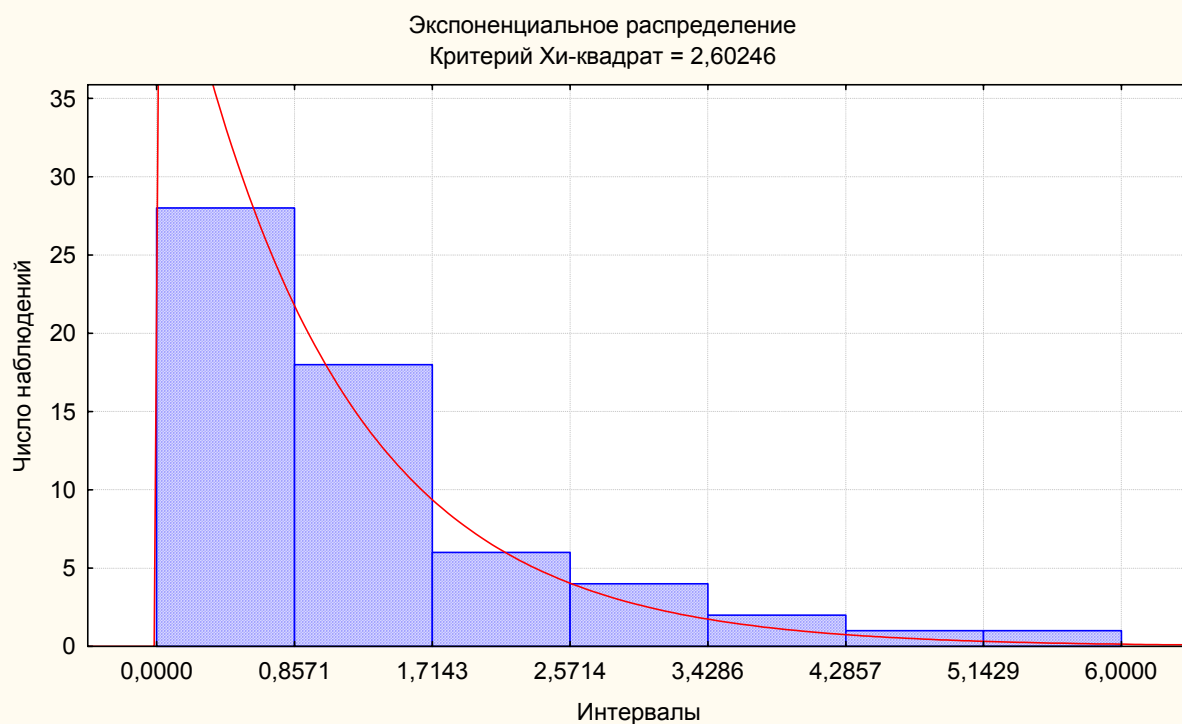


Рис. Гистограмма с наложенной теоретической функцией плотности распределения вероятности отказов ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово

В данном случае наилучшим показателем Хи-квадрат обладает экспоненциальный закон распределения ($\chi^2 = 2,602$). Данный закон описывается функцией плотности распределения вероятности, которая имеет следующий вид:

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}, \quad (4)$$

где $\lambda = \frac{1}{X}$ – постоянная положительная величина (параметр потока отказов);

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \text{ – среднее арифметическое}$$

выборки;

x_i – значение случайной величины, наблюдаемое в i -том опыте;

N – общее число наблюдений.

По результатам расчётов нами получена $\lambda = 0,983$.

Закон распределения подобран для периода с 2004 по 2008 гг., разбитого по месяцам, прогноз строится для 2009 г. Основой прогноза служит нахождение квантиля с доверительной вероятностью 0,95. Для этих целей предложено применение математического аппарата интегрирования [5, 6].

После использования данной модели 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 ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово за 2009 г. [2, 5, 6]. Результаты представлены в таблице 3. Знак минус в столбце «Ошибка прогноза» присутствует в тех строках, где прогнозные значения превышают реальные.

Выводы

Рассмотрев результаты расчётов, можно отметить, что процентное значение ошибки прогнозирования на 2009 г. составляет 38,46% и является достаточно высоким (табл. 3). Тем не менее, это объясняется в целом небольшим количеством отказов (13) данной линии в 2009 г., поэтому если рассмотреть разницу между прогнозными и реальными значениями, то она составила 5 отказов и является незначительной. Таким образом, данную модель можно использовать при составлении годовых и среднесрочных прогнозов для ВЛ 10 кВ различного направления. На основании предсказанной информации можно проанализировать будущую картину функционального состояния воздушных линий, обслуживаемых электросетевой компанией, и по результатам этого анализа разработать более качественную систему мероприятий организационно-технического характера, превентивно влияющих на повышение уровня надёжности электроснабжения рассматриваемых электрических сетей, а также обосновать необходимое количество запасных частей.

Прогнозные значения и ошибка прогноза

Месяцы года	Прогноз количества отказов ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово	Реальное количество отказов ВЛ 10 кВ: Карлук – Хомутово	Разница	Ошибка прогноза (W), %
1 январь	1	2	-1	50
2 февраль	0	0	0	0
3 март	2	0	2	-
4 апрель	0	1	-1	100
5 май	2	0	2	-
6 июнь	2	1	1	-100
7 июль	1	0	1	-100
8 август	3	2	1	-50
9 сентябрь	2	2	0	0
10 октябрь	3	2	1	-50
11 ноябрь	1	2	-1	50
12 декабрь	1	1	0	0
Всего за год	18	13	5	-38,46

Библиографический список

1. Адрес в интернете: <http://www.iesk.irkutskenergo.ru/qa/1299.html>.
 2. Журнал аварийных отключений филиала восточных электрических сетей ОАО «Иркутская электросетевая компания» за 2009 г. – 192 с.
 3. Давнис В.В. Эконометрика сложных экономических процессов: учебное пособие / В.В. Давнис, В.И. Тинякова, С.И. Мокшина и др. – Воронеж: ВГУ, 2004. – 270 с.
 4. Шириков В.Ф. Математическая статистика: учебное пособие / В.Ф. Шири-

ков, С.М. Зарбалиев. – М.: КолосС, 2009. – 480 с.
 5. Наумов И.В. Прогнозирование отказов сельских распределительных сетей напряжением 10 кВ (на примере филиала восточных электрических сетей ОАО ИЭСК) / И.В. Наумов, А.В. Ланин // Вестник АГАУ. – 2011. – № 1. – С. 86-91.
 6. Микрюков Д.Н. Модель прогноза отказов электрооборудования / Д.Н. Микрюков // Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава Рязанской ГСХА. – Рязань, 2006. – С. 314-316.



УДК 631.347

**А.М. Базуев,
 А.С. Давыдов,
 В.В. Мешков**

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ДМУ «ФРЕГАТ»
 ДЛЯ РАБОТЫ В НИЗКОНАПОРНОМ РЕЖИМЕ**

Ключевые слова: дождевальная машина, интенсивность дождя, дожде-

вальные аппараты и насадки, манометрический напор, гидроцилиндр.