

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ПРОВОДОВ ВЛ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10 КВ

И.В. Наумов, Я.М. Иваньо, А.В. Ланин, А.В. Мищенко

В статье рассматривается оценка количества отказов проводов ВЛ в электрических сетях 10 кВ, которая основана на статистическом анализе исходного числового ряда, подбore закона распределения вероятности с учётом первого коэффициента автокорреляции. Выявлена годовая цикличность многолетней изменчивости повреждаемости проводов ВЛ, на основе которой определены годовые тренды, описывающие распределение отказов по месяцам за календарные годы. На основе уравнений регрессии получен интервальный прогноз количества поврежденных проводов воздушных линий 10 кВ с периодом заблаговременности один год.

Ключевые слова: прогнозирование, надёжность, отказы, электрические сети, воздушные линии электропередачи, провода, тренд, обслуживание, статистический анализ.

Система электроснабжения, как и любая система, по окончании назначенного срока функционирования прекращает выполнять свои функции. Для проектирования и эксплуатации электрических сетей, необходимо иметь представления об основных положениях в области надёжности систем электроснабжения, моделях и методах расчета надёжности.

Наиболее аварийным звеном в системе электроснабжения являются воздушные распределительные линии 10 (6) кВ. Около 80% всех нарушений электроснабжения происходит именно в этих электрических сетях [1]. Оценка показателей надёжности функционирования систем электроснабжения может дать представление о возможности внесения изменений в структуру существующих СЭС с целью разработки превентивных мероприятий повышения надёжности электрических сетей.

Одним из способов повышения уровня надёжности электроснабжения является разработка математических моделей оценки и прогнозирования отказов. На основе информации о будущем состоянии СЭС, можно разработать систему организационно-технических мероприятий, предупреждающих аварийные ситуации и определить количество запасных элементов для исследуемого участка распределительных сетей.

Информация о количестве отказов по причине повреждения проводов ВЛ 10 кВ по месяцам с 2008 по 2012 год получена на основе анализа диспетчерских журналов Иркутской электросетевой компании [2].

По данным исходного ряда определялись статистические параметры: среднее

арифметическое, коэффициенты вариации и асимметрии, коэффициент автокорреляции. Кроме того рассчитаны их погрешности [3].

Коэффициент автокорреляции первого порядка определён по формуле:

$$r_1 = \frac{\sum_{t=1}^{n-1} (x_t - \bar{x}_t)(x_{t+1} - \bar{x}_{t+1})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n-1} (x_t - \bar{x}_t)^2 \sum_{t=1}^{n-1} (x_{t+1} - \bar{x}_{t+1})^2}}, \quad (1)$$

где x_t, x_{t+1} - предшествующее и последующее значения ряда; \bar{x}_t, \bar{x}_{t+1} - средние значения последовательностей x_t, x_{t+1} .

Для выборки повреждений проводов ВЛ r_1 равен 0,33. Его средняя квадратическая погрешность рассчитана по формуле:

$$\sigma_{r_1} = \frac{1-r_1^2}{\sqrt{N-1-1}}. \quad (2)$$

В этом выражении N - объём выборки, равный 60. Полученное σ_{r_1} составило 0,12, что подтверждает значимость коэффициента автокорреляции.

Полученный коэффициент автокорреляции необходимо учитывать при определении несмещённой оценки коэффициента вариации [4]:

$$V = \frac{\tilde{V}}{\sqrt{1 - \frac{2r_1}{N(N-1)(1-r_1)} \left(N - \frac{1-r_1^N}{1-r_1} \right)}}, \quad (3)$$

где \tilde{V} - коэффициент вариации, равный 1. В соответствии с выражением (3) $V=1,01$.

Согласно особенностям статистической структуры ряда по критерию согласия χ -

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ПРОВОДОВ ВЛ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10 КВ

квадрат определён закон распределения вероятности для исследуемого ряда в виде экспоненциальной функции:

$$f(x) = 0,126 \cdot e^{-0,126 x}, \quad (4)$$

где $\lambda_{r_1} = \frac{1}{\bar{X}_{r_1}} = 0,126$.

На рисунке 1 показана гистограмма и плотность вероятности экспоненциального распределения возникновения отказов по причине повреждения проводов ВЛ 10 кВ с учётом автокорреляции.

Оценка числа отказов основана на использовании математического аппарата интегрирования и применении квантиля с доверительной вероятностью 0,95, суть которого изложена в [5]. Согласно этому установлено, что при вероятности 0,95 число отказов за месяц по причине «Повреждение провода» не будет превышать 24.

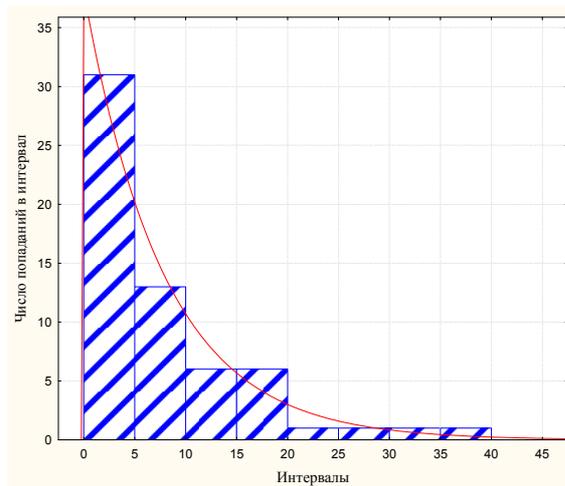


Рисунок 1 - Закон распределения плотности вероятности возникновения отказов

Помимо статистического анализа ряда отказов с 2008 по 2012 гг., рассматривалась изменчивость отказов по месяцам за каждый год. Анализ последовательности месячных значений поврежденных проводов ВЛ показывает цикличность колебаний параметра. Как правило, в конце предшествующего и начале следующего года имеет место незначительное количество отказов, которое в весенне-летние сезоны достигает наибольших значений. Поэтому имеет смысл рассматривать годовые колебания числа повреждений проводов ВЛ. В таблице 1 приведены числа отказов за 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 годы. Кроме того, определены средние значения отказов по месяцам. При этом для каждого года получено уравнение регрессии и коэф-

фициент детерминации, характеризующий его точность. На основе анализа приведённых рядов показано, что наибольшее число отказов за выбранный период приходится на апрель. На рисунке 2 приведена линия тренда для числа отказов, произошедших в апреле каждого года с 2004 по 2012 гг.

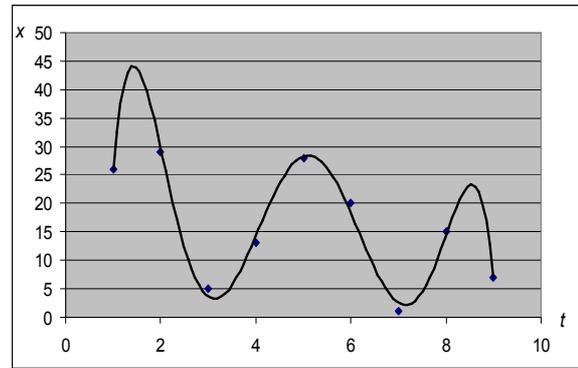


Рисунок 2 - Линия тренда для числа отказов, произошедших в апреле каждого года в период с 2004 по 2012 гг.

Распределение значений во времени описывается полиномиальной функцией шестой степени:

$$x = -0,094t^6 + 2,848t^5 - 33,77t^4 + 196,4t^3 - 577t^2 + 784,2t - 346,7, \quad (5)$$

где x - число отказов, t - порядковый номер года, для которого строится прогноз.

Соответствие полученной модели исходным данным подтверждается высоким значением коэффициента детерминации $R_2=0,99$. Согласно полученному тренду, число отказов для наиболее аварийного месяца изменяется волнообразно и имеет тенденцию к снижению. С помощью полученного уравнения (5) определено прогнозное значение на апрель 2013 года, составившее 0 отказов. Его сравнение с фактическим значением показало расхождение, равное 3 отказам.

В 2008, 2009, 2011 и 2012 годах наибольшее число отказов приходится на весенне-летний период. Полученные результаты объясняются влиянием ветровой нагрузки на надёжность проводов ВЛ 10 кВ. Согласно метеорологическим наблюдениям за многолетний период [6], наибольшая скорость ветра для Иркутской области имеет место в 4-6 месяцах календарного года. 2010 год стал исключением, поскольку наибольшее число отказов наблюдалось в декабре, январе и феврале. Это связано с экстремальными, по-видимому, погодными явлениями.

Таблица 1 - Значения отказов по месяцам 2008-2012 гг., средние значения, уравнения регрессии и коэффициенты детерминации для каждого года

месяцы	2008	2009	2010	2011	2012	среднее
январь	10	1	7	5	3	5,2
февраль	4	3	6	5	1	3,8
март	7	6	0	0	3	3,2
апрель	28	20	1	15	7	14,2
май	17	37	3	5	5	13,4
июнь	19	13	9	17	4	12,4
июль	11	11	3	13	5	8,6
август	23	11	0	4	4	8,4
сентябрь	4	32	0	3	6	9
октябрь	5	3	0	6	2	3,2
ноябрь	9	6	4	2	1	4,4
декабрь	2	17	17	6	6	9,6
уравнения регрессии	$x = -0,44t^2 + 5,12t + 2,07$	$x = -0,47t^2 + 6,71t - 4,68$	$x = 0,26t^2 - 3,14t + 10,45$	$x = -0,21t^2 + 2,55t + 1,39$	$x = -0,06t^2 + 0,87t + 1,61$	$x = 0,18t^2 + 2,42t + 2,17$
R ₂	0,4	0,24	0,36	0,19	0,13	0,8

Таким образом, электросетевому персоналу следует учитывать воздействие погодных факторов на аварийность ВЛ, а в зонах повышенной ветровой интенсивности применять СИП или заменить воздушные линии на кабельные.

Основанием прогноза послужили данные об отказах, связанных с повреждением проводов ВЛ 10 кВ за 2004-2012 гг. [2]. На основе выявленных годовых циклов отказов и тенденции их уменьшения сделана попытка прогноза годового числа отказов, связанных с повреждением проводов ВЛ, на 2014 г. (рисунок 3). Прогностическая зависимость описывается экспоненциальной функцией:

$$x_t = 179,34 \cdot e^{-0,113t}, \quad (6)$$

где x_t - число отказов за год; t – порядковый номер года, для которого строится прогноз.

Согласно рисунку 3 выделено два кластера отказов. Первый из них характеризует годовое число повреждений проводов ВЛ за 2004-2009 гг., а второй - отображает события 2010-2012 гг. Среднее значение отказов за первый период составило 137, а за второй - 63. Учитывая точность вычисления среднего как

$$\sigma_{x_2} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (7)$$

где σ - стандартное отклонение ряда годовых значений отказов x_t , n - количество значений.

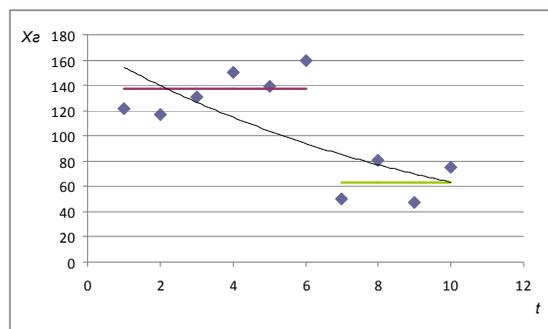


Рисунок 3 - Линия тренда для годового числа отказов за 2004-2012 гг.

Расчёт по формуле (7) позволил определить стандартную ошибку среднего, составившую 17. Тогда возможное число отказов в 2014 г. попадёт в интервал 46–80.

Если же воспользоваться экспоненциальной зависимостью (6), не учитывающей однородность информации, то получим точечный прогноз, соответствующий в 2014 г. 52 отказам.

При этом следует иметь в виду невысокую точность функции (6), что предполагает прогностическое значение как продолжение тенденции уменьшения повреждаемости проводов ВЛ.

Выводы

Статистический анализ ряда повреждений проводов ВЛ 10 кВ за 2004-2013 гг. пока-

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ПРОВОДОВ ВЛ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10 КВ

зывает, что он представляет собой случайную выборку со значимым невысоким первым коэффициентом автокорреляции. Согласно критерию χ -квадрат, ряд подчиняется экспоненциальному закону распределения.

В многолетней последовательности отказов выявлены годовые циклы, позволяющие рассматривать ежегодные тенденции изменчивости повреждений проводов ВЛ, которые описываются с помощью полинома второй степени. Показано, что количество отказов увеличивается постепенно от начала календарного года до весенне-летнего сезона, а затем уменьшается к концу года.

Получен прогноз годовых значений отказов на 2014 год согласно экспоненциальной тенденции уменьшения числа повреждений проводов ВЛ и на основе выделенных кластеров отказов, соответствующих 2004-2009 гг. и 2010-2013 гг. По тренду точечный прогноз составит 52 отказа, а по среднему значению кластера 2010-2013 гг. интервал отказов будет соответствовать 46–80.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные концептуальные подходы к реконструкции и техническому перевооружению электрических сетей. Программа технического перевооружения электрических сетей РАО «ЕЭС России» на 2001-2005 г.г. – М.: Департамент электрических сетей РАО «ЕЭС России», ОАО «РОСЭП», 2000 г.

2. Журнал аварийных отключений филиала восточных электрических сетей ОАО «Иркутская электросетевая компания» [электронный ресурс], 2004 - 2013 г.г.

3. Бережная, Е.В. Математические методы моделирования экономических систем: Учеб. Пособие / Е.В. Бережная, В.И. Бережной – 2-е изд.,

перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 432 с.: ил.

4. Иваньо, Я.М. Методы моделирования производственных процессов в АПК: Учебное пособие по самостоятельной работе / Я.М. Иваньо, М.Н. Барсукова, Т.С. Бузина. - Иркутск: ИрГСХА, 2008. – 184 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 АлтГАУ, выпуск № 1. - 2011г., С. 86-91.

6. Ресурсы поверхностных вод СССР: Т. 16. – Вып. 2. / Под ред. Г.Г. Доброумова, З.М. Кожина. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 595 с.

Наумов И.В. – д.т.н., профессор, профессор кафедры электроснабжения и электротехники ИрГТУ, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83,

тел. (3952)237360,

E-mail: professornaumov@list.ru

Иваньо Я.М. – д.т.н., профессор, проректор по учебной работе ИрГСХА, профессор кафедры информатики и математического моделирования ИрГСХА. Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский р-он, пос. Молодежный,

тел. 8(3952)237692,

E-mail: pur@igsha.ru

Ланин А.В. – к.т.н., ст. преподаватель кафедры электроснабжения и электротехники ИрГСХА, 664038, Россия, г. Иркутск, п. Молодежный, ИрГСХА,

тел. (3952)237360

E-mail: lanin_irk@mail.ru.

Мищенко А.В. – магистрант НИ ИрГТУ, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83,

тел. (3952)237360

E-mail: m_av@inbox.ru