УДК 519.21 + 621.315.2:519.21

ПОСТРОЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗА ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КЛ 6(10) КВ

М.Е. Коржова, А.В. Коржов

В статье рассматривается метод построения вероятностной модели прогноза повреждаемости кабельных линий 6(10) кВ, основанный на аппарате теории нечётких множеств.

Ключевые слова: функция принадлежности нечётких множеств; нечёткие бинарные отношения на множестве; декартово произведение.

Для оценки прогнозирования повреждаемости КЛ могут быть использованы детерминированные (на основе принципа соответствия их нормативным и базовым показателям) и вероятностные (при наличии множества случайных параметров) математические методы, однако, они мало подходят для отображения процессов, в которых существенную роль играет человеческий фактор.

В связи с этим гораздо лучше, чем вероятностный аппарат, для решения задачи прогнозирования, подходит теория нечётких множеств, в которой оценки принадлежности элементов нечёткому множеству могут быть результатом обработки заключений экспертов и модели, которые способны учитывать характер «расплывания» смыслов выражений естественного языка.

Рассмотрим возможность применения теории нечётких множеств для прогноза повреждаемости КЛ 6(10) кВ. Для этого в таблице 1 представлены 4 ряда удельной повреждаемости КЛ: первый ряд – возрастающий (с приращением 0,005); второй – колебательный; третий ряд – постоянный; четвертый – случайный, не обладающий закономерностью.

Таблица 1

Удельная повреждаемость КЛ

Месяц	Годы						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04
2	0,01	0,008	0,01	0,008	0,01	0,008	0,01
3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4	0,01	0,02	0,05	0,025	0,01	0,012	0,004

Располагая данными на период с 2008 по 2014 гг. по месяцам о проведении ремонтных работ на кабелях и муфтах, положим: 4 и 3 года – периоды удельной повреждаемости кабелей в предшествующий и последующий моменты времени и определим связь между ними с помощью нечёткого отношения.

Определим среднеарифметические показатели удельного количества проведённых ремонтных работ за рассматриваемые периоды по месяцам года, а также определим функцию принадлежности этого количества нечётких подмножеств A и B, данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели удельного количества проведённых ремонтных работ

Месяц	Максимальный показатель	Среднеарифметическое за		μ_A	μ_B
		4 года	3 года		
1	0,175	0,018	0,035	0,103	0,200
2	0,064	0,009	0,009	0,141	0,141
3	0,070	0,010	0,010	0,143	0,143
4	0,121	0,024	0,009	0,198	0,074

Определим нечёткие подмножества A и B:

$$A=\{u_1/0{,}103; u_2/0{,}141; u_3/0{,}143; u_4/0{,}198\};$$

$$B=\{u_1/0{,}200; u_2/0{,}141; u_3/0{,}143; u_4/0{,}074\}.$$

Определим и соответствующие подмножества $\overline{A}$ и $\overline{B}$ по формуле:

$$\int u_i/(1-\mu_i).$$

Тогда:

$$\overline{A}=\{u_1/0{,}897; u_2/0{,}859; u_3/0{,}857; u_4/0{,}802\};$$

$$\overline{B}=\{u_1/0{,}800; u_2/0{,}859; u_3/0{,}857; u_4/0{,}926\}.$$

Найдя декартовы произведения $A\times B$ и $\overline{A}\times\overline{B}$, можно определить нечёткое бинарное отношение R, определяющее взаимосвязь между предшествующим и последующим состояниями по правилу:

$$R = A\times B+\overline{A}\times\overline{B}.$$

Найдём $A\times B$ и $\overline{A}\times\overline{B}$, используя формулу:

$$A\times B=\min\left(\mu_{i(A)}(u_i),\, \mu_{k(B)}(u_k)\right),$$

где u_i – элемент множества $A(u_i\in A)$; u_k – элемент множества $B(u_k\in B)$; $i,k=\overline{1,m}$.

По аналогичной формуле определяется и декартово произведение $\overline{A}\times\overline{B}$.

$$A\times B=\begin{pmatrix}0{,}103 & 0{,}141 & 0{,}143 & 0{,}198\end{pmatrix}\times\begin{pmatrix}0{,}200\\0{,}141\\0{,}143\\0{,}074\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0{,}103 & 0{,}103 & 0{,}103 & 0{,}074\\0{,}141 & 0{,}141 & 0{,}141 & 0{,}074\\0{,}143 & 0{,}141 & 0{,}143 & 0{,}074\\0{,}198 & 0{,}141 & 0{,}143 & 0{,}074\end{pmatrix}.$$

$$\overline{A}\times\overline{B}=\begin{pmatrix}0{,}897 & 0{,}859 & 0{,}857 & 0{,}802\end{pmatrix}\times\begin{pmatrix}0{,}800\\0{,}859\\0{,}857\\0{,}926\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0{,}800 & 0{,}859 & 0{,}857 & 0{,}897\\0{,}800 & 0{,}859 & 0{,}857 & 0{,}859\\0{,}800 & 0{,}857 & 0{,}857 & 0{,}857\\0{,}800 & 0{,}802 & 0{,}802 & 0{,}802\end{pmatrix}.$$

Определим отношение, характеризующее предыдущее и последующее состояния, используя свойство: если $A\times B=X$, $\overline{A}\times\overline{B}=Y$, то $X+Y$ определяется выражением:

$$\mu_{X+Y}(a,b)=\max\left(\mu_X(a,b),\,\mu_Y(a,b)\right).$$

Получаем, что бинарное отношение равно:

$$R=\begin{pmatrix}0{,}103 & 0{,}103 & 0{,}103 & 0{,}074\\0{,}141 & 0{,}141 & 0{,}141 & 0{,}074\\0{,}143 & 0{,}141 & 0{,}143 & 0{,}074\\0{,}198 & 0{,}141 & 0{,}143 & 0{,}074\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}0{,}800 & 0{,}859 & 0{,}857 & 0{,}897\\0{,}800 & 0{,}859 & 0{,}857 & 0{,}859\\0{,}800 & 0{,}857 & 0{,}857 & 0{,}857\\0{,}800 & 0{,}802 & 0{,}802 & 0{,}802\end{pmatrix}=$$

$$=\begin{pmatrix}0{,}800 & 0{,}859 & 0{,}857 & 0{,}897\\0{,}800 & 0{,}859 & 0{,}857 & 0{,}859\\0{,}800 & 0{,}857 & 0{,}857 & 0{,}857\\0{,}800 & 0{,}802 & 0{,}802 & 0{,}802\end{pmatrix}.$$

Используя композиционное правило вывода, имеем:

$$B^{*}=A^{*}\circ R,$$

здесь A^{*} и B^{*} – нечёткие множества, характеризующие предыдущее и последующее состояния соответственно.

Композиция определяется выражением:

$$\mu_{A^{*}\circ R}\left(a,(a,b)\right)=\max\left(\min\left(\mu_{A^{*}}(a),\,\mu_R(a,b)\right)\right).$$

Таким образом, множество A^{*} характеризует состояние удельного числа пробоев изоляции кабельной сети в период, предшествующий прогнозируемому.

Так, в нашем случае, например, для прогноза удельной повреждаемости КЛ 6(10) кВ на 2014 год используем нечёткое подмножество:

$$A^* = \{u_1/0,200; u_2/0,125; u_3/0,143; u_4/0,099\}, \text{ где } \mu_i = \frac{u_i(2013)}{u_{\max}}.$$

$$B^* = \begin{pmatrix} 0,200 & 0,125 & 0,143 & 0,099 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,800 & 0,859 & 0,857 & 0,897 \\ 0,800 & 0,859 & 0,857 & 0,859 \\ 0,800 & 0,857 & 0,857 & 0,857 \\ 0,800 & 0,802 & 0,802 & 0,802 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 0,200 & 0,200 & 0,200 & 0,200 \end{pmatrix}.$$

Переходя от значений функции принадлежности к показателям удельной повреждаемости КЛ, получаем следующие результаты прогноза по апробации данной методики на 2014 год.

Удельная повреждаемость в первом месяце составила $0,175 \cdot 0,200 = 0,035$ (фактически 0,04); во втором – $0,064 \cdot 0,200 = 0,0128$ (фактически 0,01); в третьем – $0,070 \cdot 0,200 = 0,014$ (фактически 0,01); в четвёртом $0,121 \cdot 0,200 = 0,0242$ (фактически 0,004).

Сравнение полученных данных с фактическими показывает, что применение теории нечётких множеств в рассматриваемой предметной области удовлетворительно для рядов, обладающих закономерностью (1-3) и имеет наибольшую погрешность для случайного ряда (4). Таким образом получаем, что прогнозируемые значения пробоев изоляции позволяют оценивать истинную тенденцию пробоев.

Библиографический список

1. Коржов, А.В. Методы и модели оценки состояния изоляции и электробезопасности кабельных линий 6(10) кВ городских электрических сетей: монография / А.В. Коржов, А.И. Сидоров. – Челябинск: «Издательский центр ЮУрГУ», 2009. – 252 с.

2. Коржов, А.В. Математическая модель повреждаемости изоляции силовых кабельных линий городских электрических сетей / А.В. Коржов, А.И. Сидоров, Е.Ю. Юрченко, А.Б. Николаевский // Электрические станции. – 2008. – № 8. – С. 40–47.

3. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: «Мир», 1976. – 166 с.

К содержанию