

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

**УДК 621.3.015:621.316.11**

**Г.И. Разгильдеев, Е.В. Ногин**

### **ПОТОКИ ОТКАЗОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРИ ГРОЗАХ**

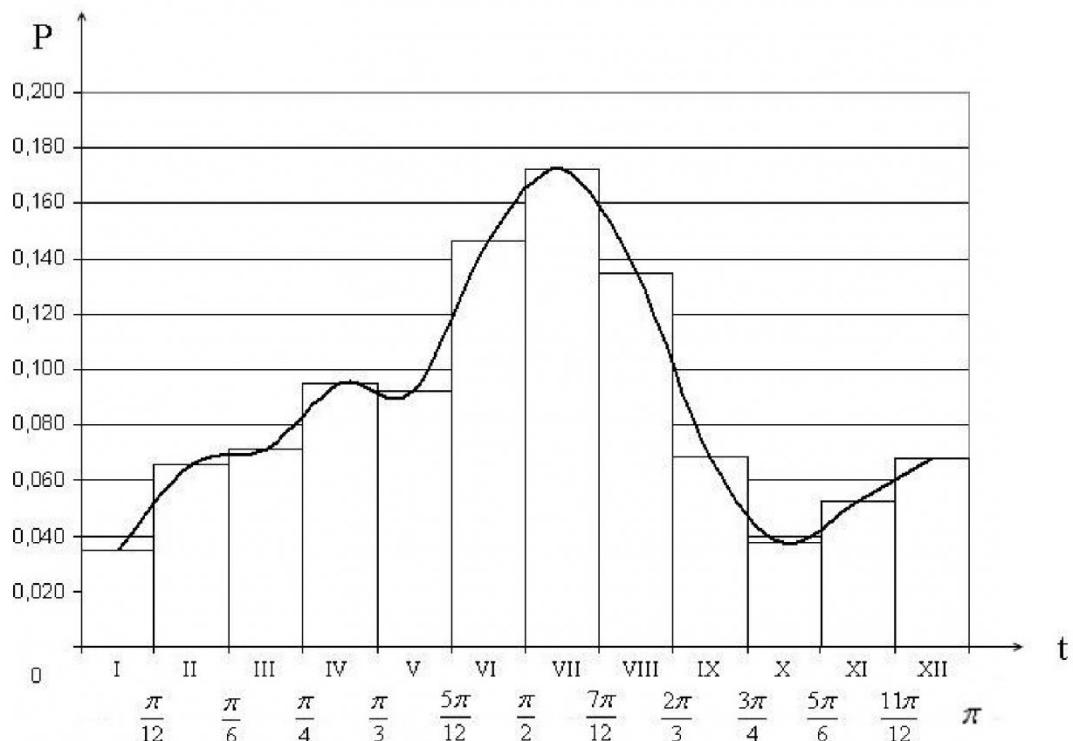
Статистика показывает, что в летние месяцы при прохождении гроз существенно возрастают потоки отказов в воздушных линиях электропередачи (ВЛ), составляющих основу системы электроснабжения Кемеровской области. В [1] отмечено, что отключения воздушных распределительных линий электропередачи при грозах составляют 27-30 % общего числа отключений, вызванных разного рода отказами входящего в ВЛ электрооборудования.

Обычно принято считать, что потоки отказов различного электрооборудования обладают свойствами ординарности (когда для любых неперекрывающихся интервалов времени число событий, появляющихся на одном из них не зависит от числа событий, появляющихся в других интервалах) и стационарности (когда вероятностный режим отказов не изменяется во времени). Такие потоки

отказов называются пуассоновскими. Наличие этих свойств дает основание применять теорию марковских процессов для описания потока событий и теорию массового обслуживания для планирования ремонтов.

Грозовая деятельность в летние месяцы может нарушить стационарность потока отказов со всеми вытекающими последствиями, следовательно, требует внимательного изучения.

С этой целью были проанализированы несколько тысяч случаев отключений ВЛ за пять лет. К учету не принимались отказы, не приводившие к перерыву электроснабжения, в том числе при успешных срабатываниях автоматического повторного включения (АПВ), или случаи повторного включения ВЛ персоналом после простоя длительностью не более 3 мин по двум причинам: во-первых, при успешном АПВ потреби-



*Рис 1. Гистограмма распределения средних частот отказов по месяцам года и кривая зависимости  $P = f(t)$*

Таблица 1. Табличное представление функции

$t_i$	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	0	$\frac{\pi}{12}$	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{5\pi}{12}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{7\pi}{12}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{5\pi}{6}$	$\frac{11\pi}{12}$	$\pi$
$f(t_i)$	0,035	0,035	0,056	0,062	0,071	0,116	0,115	0,195	0,117	0,063	0,072	0,039	0,059

Таблица 2. Расчет коэффициентов ряда Фурье

$t_i$	$P_i$	$\cos(t_i)$	$\cos(2t_i)$	$\cos(3t_i)$	$\cos(4t_i)$	$\cos(5t_i)$	$\cos(6t_i)$
0	0,017	1	1	1	1	1	1
1	0,035	0,966	0,866	0,707	0,5	0,256	0
2	0,056	0,866	0,5	0	-0,5	-0,866	-1
3	0,062	0,707	0	-0,707	-1	-0,707	0
4	0,071	0,5	-0,5	-1	-0,5	-0,5	1
5	0,116	0,259	-0,866	-0,707	0,5	0,966	0
6	0,115	0	-1	0	1	0	-1
7	0,195	-0,259	-0,866	0,707	0,5	-0,966	0
8	0,117	-0,5	-0,5	1	-0,5	-0,5	1
9	0,063	-0,707	0	0,707	-1	0,707	0
10	0,072	-0,866	0,5	0	-0,5	0,866	-1
11	0,039	-0,966	0,866	-0,707	0,5	-0,256	0
12	0,03	-1	1	-1	1	-1	1
$\sum$	0,988	-0,075	-0,303	0,087	0,072	-0,170	-0,008
$a_k$	0,165	-0,012	-0,051	0,014	0,012	-0,028	-0,001

тель практически не испытывает перерывов в электроснабжении, во-вторых трудно, а иногда и невозможно установить причину кратковременных отключений электроэнергии. Здесь возможно случайное срабатывание защиты и других факторов.

На рис. 1 приведена гистограмма распределения средних частот отказов (отключений) ВЛ по месяцам года [1]. Видно, что увеличение отказов (отключений) ВЛ приходится на апрель-август, т.е. на время прохождения гроз, сопровождаемых сильными и порывистыми ветрами. Поскольку распределение частот отказов является средним за два года, то естественно предположить, что увеличение числа отказов (отключений) ВЛ в летние и снижение в зимние месяцы повторяется с одинаковой периодичностью.

Для определения аналитического выражения изменения числа отказов (отключений) ВЛ в каждом  $i$ -м месяце года удобно применить разложение частот  $P=f(t)$  в тригонометрический ряд, исходя из предположения, что любая функция приближенно и достаточно точно может быть выражена суммой конечного числа первых членов ряда Фурье [2].

$$f(t) \approx \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n [a_k \cdot \cos(kt) + b_k \sin(kt)] \quad (1)$$

Приближенное представление функции  $P=f(t)$  в виде многочлена Фурье требует отыскания пер-

вых коэффициентов:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{+\pi} f(t) \cdot \cos(kt) dt \quad (2)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi}^{+\pi} f(t) \cdot \sin(kt) dt \quad (3)$$

Учитывая что изменение знака аргумента не приведет к изменению знака функции, т.е. функция  $P=f(t)$  четная и что при разложении четной функции в ряд Фурье коэффициенты  $b_k$  равны нулю, запишем:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^n a_k \cdot \cos(kt) \quad (4)$$

Для определения коэффициентов Фурье необходимо вычислить интеграл (2), что возможно осуществить, наряду с другими методами, по формуле трапеции [3].

Функцию  $P=f(t)$  удобно задать таблично (табл. 1).

Применение формулы трапеций (5)

$$\int_a^b f(t) dt = \frac{b-a}{m} \cdot \left( \frac{1}{2} P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_{m-1} + \frac{1}{2} P_m \right) \quad (5)$$

к интегралу (2) дает следующий результат:

$$a_n = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\pi}{m} \left[ \frac{1}{2} f(t_0) \cdot \cos(nt_0) + \right. \\ \left. + f(t_1) \cdot \cos(nt_1) + \dots + \frac{1}{2} f(t_m) \cdot \cos(nt_m) \right] \quad (6)$$

где:  $t_i = \frac{\pi}{m} i$  (i=0, 1, 2,...m).

Вводя обозначение (7)

$$P_0 = \frac{1}{2} f(t_0); \quad P_1 = f(t_1); \quad ; \quad P_m = \frac{1}{2} f(t_m) \quad (7)$$

получим:

$$a_n = \frac{2}{m} [P_0 \cdot \cos(nt_0) + \dots + P_m \cdot \cos(nt_m)] \quad (8)$$

где  $n=0, 1, 2, \dots, m$ .

В формуле (8) примем  $m=12$ , т.е. отрезок  $[-\pi; \pi]$  разделим на 24 части, а отрезок  $\pi$  на 12 частей. Ограничимся шестью гармониками, не считая нулевой, т.е. примем  $n=6$ .

Все вычисления для отыскания коэффициентов  $a_n$  приведены в табл. 2. В строке  $\sum$  записывается сумма

$$\sum_{i=0}^n P_i \cdot \cos(kt) = S_k \quad \text{для } n=0, 1, 2, \dots, 6.$$

Разделив  $S_k$  на  $m/2=6$ , получим приближенные значения коэффициентов  $a_k$ , приведенные в последней строке табл. 2. Искомый полином имеет вид:

$$P = f(t) = 0,082 - 0,012 \cdot \cos(t) - 0,051 \cdot \cos(2t) \\ + 0,014 \cdot \cos(3t) + 0,012 \cdot \cos(4t) - 0,028 \cdot \cos(5t) \\ - 0,001 \cdot \cos(6t) \quad (9)$$

Для проверки вычислим:

$$P_0 = 0,082 - 0,012 - 0,051 + 0,014 + 0,012 - \\ - 0,028 - 0,001 = 0,0016$$

Полученный результат хорошо согласуется с заданной таблицей. На рис. 1 кривая 1 построена по уравнению (9) и достаточно точно описывает заданный процесс.

Погодные и атмосферные воздействия оказывают влияние на увеличение количества отказов высоковольтных сетей в случае рассмотрения совокупности всех элементов, над которыми проводятся наблюдения.

На изменение же частоты отказов каждого элемента сетей в отдельности это влияние проявляется слабо.

На рис. 1 показано распределение частотой отказов по месяцам года на магистральных линиях электропередач с деревянными опорами.

Из рисунка видно, что некоторое увеличение числа отказов возможно не только в летние месяцы (в августе), но и в осенние и зимние, что может быть объяснено как действием случайных факторов, так и влиянием погодных и атмосферных условий.

Средняя частота отказов за год составила 0,086, а отклонения в большую и меньшую стороны  $\pm 34\%$ , что дает основание считать вероятностный режим отказов (отключений) ВЛ не зависящим от номера месяца с начала года.

Таким образом, летнее увеличение числа отказов из-за гроз не влияет на стационарность потока отказов в ВЛ, т.е. вероятностный режим практически не изменяется во времени.

Поэтому при рассмотрении вопросов надежности отдельных элементов высоковольтных сетей и определении числовых характеристик надежности влиянием погодных и атмосферных воздействий на увеличение числа отказов можно пренебречь.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разгильдеев, Г.И. Характеристика распределительных сетей системы электроснабжения Кемеровской области / Г.И. Разгильдеев, Е.В. Ногин // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. 2009, №5, с.65-69
2. Аксенов, А.П. Математический анализ. (Ряды Фурье. Интеграл Фурье. Суммирование расходящихся рядов): уч. пособие - СПб.: Изд-во «НЕСТОР», 1999, 86 с.
3. Демидович, Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон. - М.: Наука 1966. - С. 582

Авторы статьи:

Разгильдеев  
Геннадий Иннокентьевич  
- докт. техн. наук, проф.  
каф. электроснабжения горных и  
промышленных предприятий  
КузГТУ, тел 8-384-2-39-63-20

Ногин  
Евгений Витальевич  
- соиск. каф. электроснабжения  
горных и промышленных  
предприятий КузГТУ.  
тел. 8-384-2-39-63-20