

УДК 622.862.7.012.3

А.В. Пичуев

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ОТКЛЮЧЕНИЙ В КАРЬЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 6÷10 КВ

При исследовании динамики целесообразно использовать результаты численного спектрального (гармонического) анализа на основе дискретного преобразования Фурье, который заключается в нахождении коэффициентов периодической финитной функции. Приведены результаты исследований динамики отключений на Железногорском карьере.

Ключевые слова: аварийные отключения, природно-климатические факторы, атмосферное давление.

Для анализа аварийных отключений в карьерной распределительной сети (КРС) необходимо исследование динамики этих процессов и установление зависимостей, позволяющих осуществить качественную и количественную оценку уровня надежности и безопасности эксплуатации карьерных электроустановок.

К основным задачам, возникающим при изучении динамических рядов, относятся следующие:

- характеристика интенсивности отдельных изменений в уровнях ряда от периода к периоду или от даты к дате;
- определение средних показателей временного ряда за тот или иной период;
- выявление основных закономерностей динамики исследуемого явления на отдельных этапах и в целом за рассматриваемый период;
- выявление факторов, обуславливающих изменение изучаемого объекта во времени;
- прогноз развития явления на будущее [1].

Динамический ряд представляет собой ряд последовательных уровней, сопоставляя которые между собой

можно получить характеристику скорости и интенсивности развития явления. В результате сравнения уровней получается система абсолютных и относительных показателей динамики отключений $N_{от}$, к числу которых относятся: абсолютный прирост числа отключений ΔN_i , коэффициент роста k_{Ni} ; темп прироста T_N ; абсолютное значение одного процента прироста A_{Ni} ; коэффициент опережения $k_{оп}$.

Для обобщающей характеристики динамики отключений в электрической сети за ряд периодов наблюдения определяются следующего рода средние показатели: средний уровень отключений за период наблюдения $\overline{N_{от}}$; средняя скорость роста Δ_N ; средний коэффициент роста $\overline{k_p}$, средний темп роста $\overline{T_N}$.

Динамика аварийных отключений тесно взаимосвязана с динамикой работы электроустановок в КРС (периодическое перераспределение нагрузки по фидерам, изменение числа распределительных линий по мере роста присоединенной нагрузки и расширения карьера, изменение конфигурации сети по фронту работ и

т.д.) в течение времени (сутки, месяц, квартал, год). При этом для условий ведения открытых горных работ существенное влияние на количество и интенсивность отключений оказывают природно-климатические факторы (сезонность ведения работ, температура воздуха и ее перепады, атмосферное давление, характер и интенсивность метеорологических осадков, интенсивность грозных периодов и т.д.). Поэтому при исследовании динамики целесообразно использовать результаты численного спектрального (гармонического) анализа на основе дискретного преобразования Фурье, который заключается в нахождении коэффициентов периодической функции на заданном временном интервале дискретными отсчетами [2].

Для КРС 6÷10 кВ, динамика отключений в результате срабатывания максимальной токовой защиты, токовой отсечки и защиты от перегрузки в значительной степени определяется технологическими и эксплуатационными факторами. В связи с этим наиболее правильным было предположить, что в математическом анализе данных процессов целесообразно представлять их не спектральными периодическими, а спектральными непериодическими (финитными) функциями, т.е. функциями, полностью определенными на заданном интервале времени [3].

Для финитной функции, описывающей динамику отключений, определяются составляющие комплексной спектральной плотности

$$N_{от}(j\omega) = N_c(j\omega) + N_s(\omega) + N_{от}(\omega)e^{j\varphi(\omega)} \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ — угловая частота; вычисляются составляющие комплексной спектральной плотности:

- модуль спектральной плотности

$$N_{от}(\omega) = \sqrt{[N_c(\omega)]^2 + [N_s(\omega)]^2}; \quad (2)$$

- фаза спектральной плотности на частоте ω

$$\varphi(\omega) = -\arctg \left[\frac{N_s(\omega)}{N_c(\omega)} \right]. \quad (3)$$

При этом

$$N_c = \int_0^{t_0} N_{от}(t) \cos(\omega t);$$

$$N_s = \int_0^{t_0} N_{от}(t) \sin(\omega t), \quad (4)$$

где $N_{от}(t)$ — динамическая функция изменения числа отключений во времени, $[0 - t_0]$ — интервал области определения функции $N_{от}(t)$.

Численный анализ в таком случае заключается в нахождении коэффициентов финитных функций

$$N_c = \Delta t \sum_{i=0}^{T-1} N_{отi} \cos(2\pi f \Delta t_i);$$

$$N_s = \Delta t \sum_{i=0}^{T-1} N_{отi} \sin(2\pi f \Delta t_i), \quad (5)$$

где $\Delta t = \frac{t_0}{T}$ — шаг, с которым расположены абсциссы $N_{от}(t)$.

В результате математического анализа динамики отключений в КРС 6—10 кВ установлено, что финитная функция, определенная до второй гармоники, дает достаточную сходимость. В таком случае для численного спектрального анализа правомерно использование периодической функции (6), которая является частным случаем финитной и которую можно представить выражением

$$N_{от} = a_0 + \sum_{i=1}^T (a_i \cos k_i t + b_i \sin k_i t) \quad (6)$$

где $N_{от}$ — количество аварийных отключений, произошедших за период времени T (сутки, месяц, год); k_i — номер гармоники; t — последовательный временной интервал (час, сутки), определяемый для циклических функций по формуле

$$t = \frac{2\pi \cdot (n-1)}{T}, \quad (7)$$

здесь n — номер временного интервала в цикле; a_0 , a_k , b_k — коэффициенты спектральной функции, определяемые по формулам

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{\sum_{i=1}^T N_{от}}{T}; \\ a_k &= \frac{2 \sum_{i=1}^T (N_{от} \cos k_i t_i)}{T}; \\ b_k &= \frac{2 \sum_{i=1}^T (N_{от} \sin k_i t_i)}{T}. \end{aligned} \quad (8)$$

Для определения формы и тесноты связи между зависимым параметром и факторами, влияющими на его изменение, выполняется одномерный анализ статистических данных. Параметрами, определяющими взаимосвязь численных последовательностей статистического и аналитического рядов, приняты коэффициент взаимной корреляции $r_{N, \bar{N}}$ и стандартное отклонение $\sigma_{N, \bar{N}}$, соответствующее среднеквадратичной погрешности (относительно аналитического ряда) [4].

Анализ зависимостей, представленных в табл. 1, показал, что в КРС-6 кВ Железногорского карьера максимальное количество аварийных отключений приходится на период с февраля по май и с сентября по декабрь. Наименьшее количество аварийных отключений приходится на период с июня по сентябрь. Это в це-

лом свидетельствует о сезонном характере распределения числа аварийных отключений в течение года. Вместе с тем, следует отметить, что динамика аварийных отключений, вызванных срабатыванием максимальной токовой защиты, токовой отсечки и защиты от перегрузки, указывает на существенное влияние технологических и эксплуатационных факторов.

Анализ зависимостей, представленных в табл.2, показал, что в КРС-10 кВ максимальное количество отключений приходится на период с февраля по апрель и с сентября по декабрь. Наименьшее количество отключений приходится на февраль и на период с июля по август.

Сравнительный анализ распределения числа отключений в сетях напряжением 6 кВ и 10 кВ показал, что в последних число срабатываний защиты от однофазных замыканий на землю ниже в 5,4 раза, защит от перегрузки в 6 раз, двоянные срабатывания ЗЗНЗ+МТЗ ниже в 2,5 раза. Это свидетельствует о том, что повышение класса напряжения КРС в целом благоприятно воздействует на устойчивость ее работы под нагрузкой.

Анализ гармонических рядов (табл.1 и табл.2) в целом позволяет сделать вывод о том, что динамика имеет сезонный характер, три этом наибольшее число аварийных отключений приходится на период с февраля по июнь и с сентября по декабрь. Это обусловлено ростом интенсивности ведения горных работ в указанный период времени, а также существенным влиянием климатических факторов (широкий диапазон колебаний температуры воздуха, атмосферное давление, повышенная ветровая нагрузка и т.д.).

Полученные в результате математического анализа зависимости могут быть

Таблица 1

Уравнения динамики отключений в КРС-6 кВ Железногорского карьера

Вид защиты	Уравнение	$r_{N,\bar{N}}$	σ
ЗЗНЗ	$\bar{N}_{от} = 80,75 + 9,17 \cos t + 2,95 \sin t - 6,0 \cos 2t - 2,89 \sin 2t$	0,7	8,4
МТЗ	$\bar{N}_{от} = 27,75 + 1,52 \cos t + 7,98 \sin t + 2,67 \cos 2t - 1,44 \sin 2t$	0,65	7,12
ТО	$\bar{N}_{от} = 7,5 - 0,36 \cos t + 2,48 \sin t - 0,25 \cos 2t - 1,3 \sin 2t$	0,75	1,17
Пер.	$\bar{N}_{от} = 9,83 + 2,6 \cos t - 0,58 \sin t + 0,92 \cos 2t + 0,43 \sin 2t$	0,46	3,78
Все защиты	$\bar{N}_{от} = 130,5 + 12,7 \cos t + 16,2 \sin t - 2,8 \cos 2t - 3,9 \sin 2t$	0,78	11,86

Таблица 2

Уравнения динамики отключений в КРС-10 кВ Железногорского карьера

Вид защиты	Уравнение	$r_{N,\bar{N}}$	σ
МТЗ	$\bar{N}_{от} = 35,3 + 7 \cos t - 8 \sin t - 5,8 \cos 2t - 8,4 \sin 2t$	0,56	15
ТО	$\bar{N}_{от} = 33 + 1,7 \cos t - 4,7 \sin t - 1,7 \cos 2t - 3,5 \sin 2t$	0,46	10,1
Все защиты	$\bar{N}_{от} = 86,8 + 21,7 \cos t - 16,3 \sin t + 0,5 \cos 2t - 30,3 \sin 2t$	0,51	48,6

положены в основу для определения и последующего анализа интерполирующих функций для построения прогнозных моделей, а также определения ос-

новных показателей надежности и безопасности работы электроустановок в карьерных распределительных сетях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимова М.Р., Петрова Е.В., Румянцев В.Н. Общая теория статистики. — М.: ИНФА-М, 1998.
2. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. — М.: Наука, 1981.
3. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Наука, 1979.
4. Мацкевич И.П., Свирид Г.П. Высшая математика. Теория вероятностей и математическая статистика. — Минск: Высшая школа, 1993. **УДК**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Пичуев А.В. —
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru