УДК 622.862.7.012.3

А.В. Пичуев

ДИНАМИКА АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ В КАРЬЕРНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Семинар № 21

ля 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.

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). Поэтому для анализа динамики целесообразно использовать результаты численного спектрального (гармонического) анализа на основе дискретного преобразования Фурье.

Анализ распределения аварийных отключений в КРС-6 кВ Железногорского карьера по месяцам года (табл. 1.) показал, что общее число срабатываний устройств релейной защиты распределилось следующим образом: 61,9 % - защита от замыканий на землю (33H3); 21,3 % - максимальная токовая защита (МТ3); 7,5 % - защита от перегрузок (Пер.); 5,7 % - токовая отсечка (ТО); 1.2

% - сдвоенные срабатывания защит (33H3+MT3); 2,4 % - срабатывания прочих защит (дифференциальных, газовых, минимального напряжения и т.д.).

Распределение числа аварийных отключений в КРС-6 кВ Железногорского карьера по месяцам года

Анализ распределения аварийных отключений в КРС-10 кВ Железногорского карьера по месяцам года (табл. 2.) показал, что общее число срабатываний устройств релейной защиты распределилось следующим образом: 17,3 % - 33H3; 40,9 % - МТЗ; 38 % - ТО; 1,9 % - защита от перегрузок; 0,8 % - 33H3+МТЗ; 1,1 % - срабатывания прочих защит.

В связи с этим правомерным представляется вывод о том, что наиболее частыми являются аварийные отключения, повлекшие за собой срабатывание защит от однофазных замыканий на землю, максимальной токовой защиты и токовой отсечки. Анализ динамики таких аварийных отключений позволяет определить характер их распределения.

Численный спектральный анализ заключается в нахождении коэффициентов периодической функции на заданном временном интервале дискретными отсчетами [1]. В нашем случае вид периодической функции, характеризующей динамику аварийных

Таблица 1 Распределение числа аварийных отключений в КРС-6 кВ Железногорского карьера по месяцам года

| Месяц | 33Н3 | МТЗ | то | Пер. | 33H3<br>+MT3 | Проч. | Итого |
|-------|------|-----|----|------|--------------|-------|-------|
| I     | 90   | 31  | 7  | 14   | 1            | 1     | 144   |
| II    | 77   | 25  | 5  | 18   | 4            | 5     | 134   |
| III   | 86   | 49  | 11 | 6    | 5            | 6     | 163   |
| IV    | 103  | 20  | 10 | 7    | -            | 6     | 146   |
| V     | 73   | 40  | 10 | 10   | 2            | 2     | 137   |
| VI    | 72   | 28  | 9  | 6    | 1            | 8     | 124   |
| VII   | 78   | 34  | 11 | 12   | 2            | 3     | 140   |
| VIII  | 52   | 22  | 3  | 3    | -            | 3     | 83    |
| IX    | 83   | 15  | 4  | 9    | 1            | -     | 112   |
| X     | 82   | 16  | 7  | 16   | 1            | 3     | 125   |
| XI    | 85   | 25  | 5  | 7    | 1            | -     | 123   |
| XII   | 88   | 28  | 8  | 10   | 1            | -     | 135   |
| Итого | 969  | 333 | 90 | 118  | 19           | 37    | 1566  |

Таблица 2 Распределение аварийных отключений в КРС-10 кВ Железногорского карьера по месяцам года

| Месяц | 33Н3 | МТ3 | то  | Пер. | 33H3<br>+MT3 | Проч. | Итого |
|-------|------|-----|-----|------|--------------|-------|-------|
| I     | _    | 10  | 19  | -    | -            | -     | 29    |
| II    | -    | 20  | 25  | -    | -            | 2     | 47    |
| III   | 14   | 43  | 33  | -    | -            | 4     | 94    |
| IV    | 15   | 43  | 33  | 2    | -            | -     | 93    |
| V     | 13   | 21  | 33  | 1    | 4            | -     | 72    |
| VI    | -    | 20  | 19  | -    | -            | 2     | 41    |
| VII   | 24   | 37  | 41  | 4    | -            | -     | 106   |
| VIII  | 3    | 31  | 25  | -    | -            | -     | 59    |
| IX    | -    | 23  | 44  | -    | -            | -     | 67    |
| X     | -    | 44  | 25  | -    | -            | -     | 69    |
| XI    | 13   | 54  | 41  | 1    | -            | -     | 109   |
| XII   | 98   | 80  | 58  | 12   | 4            | 3     | 255   |
| Итого | 180  | 426 | 396 | 20   | 8            | 11    | 1041  |

отключений за определенный период времени, можно представить выражением

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

где  $N_{om}$  количество аварийных отключений, произошедших за период времени

T (сутки, год);  $k_i$  - номер гармоники; t - последовательный временной интервал (час, сутки), определяемый для циклических функций по формуле

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

Таблица 3 Уравнения динамики аварийных отключений в КРС-6 кВ

| Вид<br>защиты | Уравнение  | ${m \gamma}_{N,\overline{N}}$ | $\sigma$ |
|---------------|--|-------------------------------|----------|
| 33Н3          | $\overline{N}_{o\tau}$ = 80,75 +9,17 $\cos t$ +2,95 $\sin t$ 6,0 $\cos 2t$ -2,89 $\sin 2t$ | 0,7                           | 8,4      |
| МТЗ           | $\overline{N}_{or}$ = 27,75 +1,52 cos t +7,98 sin t + +2,67 cos 2t -1,44 sin 2t            | 0,65                          | 7,12     |
| ТО            | $\overline{N}_{o\tau}$ = 7,5 -0,36 $\cos t$ +2,48 $\sin t$ 0,25 $\cos 2t$ -1,3 $\sin 2t$   | 0,75                          | 1,17     |
| Пер.          | $\overline{N}_{o\tau} = 9.83 + 2.6 \cos t - 0.58 \sin t + 0.92 \cos 2t + 0.43 \sin 2t$     | 0,46                          | 3,78     |
| Все защи-     | $\overline{N}_{or}$ = 130,5 +12,7 cos t +16,2 sin t -<br>-2,8 cos 2t -3,9 sin 2t           | 0,78                          | 11,86    |

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

$$a_{0} = \frac{\sum_{i=1}^{T} N_{OTi}}{T}; a_{k} = \frac{2 \sum_{i=1}^{T} (N_{OTi} \cos k_{i} t_{i})}{T};$$

$$b_{k} = \frac{2 \sum_{i=1}^{T} (N_{OTi} \sin k_{i} t_{i})}{T}.$$
(3)

Параметрами, определяющими взаимосвязь численных последовательностей статистического и аналитического рядов, приняты коэффициент взаимной корреляции  $p_{N,\overline{N}}$  и стандартное отклонение  $\sigma$ , соответствующее среднеквадратичной погрешности (относительно аналитического ряда) [2].

Анализ зависимостей, представленных в табл. 3, показал, что в КРС-6 кВ 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 целом 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. 4, показал, что в КРС-10 кВ максимальное количество аварийных отключений приходится на период с февраля по апрель и с сентября по декабрь. Наименьшее количество аварийных отключений приходится на февраль и на период с июля по август. Вместе с тем, следует отметить, что динамика аварийных отключений, вызванных срабатыванием максимальной токовой защиты и защиты от перегрузки, а также в целом для сетей данного класса напряжения может быть представлена в таком виде только в первом приближении. Об этом свидетельствуют низкие коэффициенты корреляции, явно выраженный

Таблица 4 Уравнения динамики аварийных отключений в КРС-10 кВ

| Вид<br>защиты | Уравнение  | $r_{\scriptscriptstyle N,\overline{\scriptscriptstyle N}}$ | σ    |
|---------------|--|--|------|
| MT3           | $\overline{N}_{o\tau}$ = 35,3 +7 cos t -8 sin t -<br>-5,8 cos 2t -8,4 sin 2t   | 0,56   | 15   |
| ТО            | $\overline{N}_{or}$ = 33 +1,7 cos t -4,7 sin t -<br>-1,7 cos 2t -3,5 sin 2t    | 0,46   | 10,1 |
| Все защи-     | $\overline{N}_{ot}$ = 86,8 + 21,7 cos t -16,3 sin t + +0,5 cos 2t -30,3 sin 2t | 0,51   | 48,6 |

Таблица 5 Уравнения динамики аварийных отключений по времени суток

| Сеть      | Уравнение динамики  | ${m r}_{N,\overline N}$ | $\sigma$ |
|-----------|---|-------------------------|----------|
| КРС-6 кВ  | $\overline{N}_{o\tau}$ = 65,3 -14,1 $\cos t$ -19,7 $\sin t$ + +2,8 $\cos 2t$ +0,1 $\sin 2t$ | 0,87                    | 9,48     |
| КРС-10 кВ | $\overline{N}_{or}$ = 43,4 -16,2 cos t -4,4 sin t + +3,0 cos 2t -0,3 sin 2t                 | 0,81                    | 8,1      |

случайный характер распределения, высреднеквадратическая погрешность результатов статистического и аналитического моделирования. Как и для КРС-6 кВ, динамика аварийных отключений в результате срабатывания МТЗ, ТО 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, спектральными непериодическими (финитными) функциями, т.е. функциями, полностью определенными на заданном интервале времени [3].

Сравнительный анализ распределения числа аварийных отключений в сетях напряжением 6 кВ и 10 кВ показал, что в последних число срабатываний защит от однофазных замыканий на

землю ниже в 5,4 раза, защит от перегрузки в 6 раз, сдвоенные срабатывания 33H3+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.

В результате обработки статистических данных по распределению числа аварийных отключений по времени суток были получены уравнения динамики, приведенные в табл. 5. Анализ зависимостей показал, что наибольшее число отключений приходится на интервал времени 10.00-19 00 для КРС-6 кВ и интервал времени 10.00-17.00 для КРС-10 кВ. При этом общая тенденция снижения числа аварийных отключений в сетях характерна для интервала 20.00-8.00, т.е. приходится на вечернее и ночное время работы.

Анализ гармонических рядов (табл. 1 и табл. 2) в целом позволяет сделать вы-

вод 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 дав-

ление, повышенная ветровая нагрузка и т  $\pi$  )

Полученные в результате математического анализа зависимости могут быть положены в основу для определения и последующего анализа интерполирующих функций для построения прогнозных моделей, а также определения основных показателей надежности работы электроустановок в карьерных распределительных сетях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. М.: Наука, 1981
- 2. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука, 1979.
- 3. *Мацкевич И.П., Свирид Г.П.* Высшая математика. Теория вероятностей и математическая статистика. Минск: Высшая школа, 1993.

## Коротко об авторах

Пичуев А.В. – Московский государственный горный университет.



## ДИССЕРТАЦИИ

## ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

| Автор  | Название работы  | Специальность        | Ученая степень |  |
|--|--|----------------------|----------------|--|
| ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ НАУЧНЫЙ<br>ЦЕНТР ПО БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ВостНИИ |  |                      |                |  |
| АКСЕНОВ<br>Геннадий<br>Иванович  | Разработка технологических схем проветривания при камерной системе отработки крутопадающих пластов Прокопьвско-Киселев-ского месторождения | 05.26.03<br>25.00.22 | к.т.н.         |  |