© А.В. Пичуев, 2006

УДК 622.862.7.012.3

А.В. Пичуев

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

Семинар № 21

Для карьерных распределительных сетей (КРС) напряжением 6-10 кВ крупных алмазодобывающих предприятий характерны большая протяженность воздушных линий, их разветвленность, значительное количество присоединенного оборудования, включая электроустановки большой единичной мощности. Карьерные распределительные сети выполняются, как правило, по радиальным или радиально-магистральным схемам. При этом передача электроэнергии к потребителям осуществляется от карьерных распределительных пунктов (КРП) или понизительных подстанций (ПС) обогатительных фабрик на распределительные пункты (РП), находящиеся непосредственно в карьере.

Анализ аварийных отключений в КРС показывает, что существенную долю их составляют отключения однофазных замыканий на землю, обусловленных обрывами фазных проводов, неправильной настройкой защит, атмосферными перенапряжениями, пожарами в электроустановках, некачественным ведением монтажных и наладочных работ, ошибками оперативного персонала, повреждениями линий при ведении взрывных работ, повреждением линий экскаваторами и автотранспортом и т.д. Доля таких отключений составляет до 50 % от общего их числа. Количество аварийных отключений, обусловленных междуфазными короткими замыканиями, как правило, не превышает 10-15 %. при этом следует отметить, что для 30-40 % отключений, произошедших в карьерной сети, вообще не удается установить причину их возникновения [1, 2]. Это в свою очередь приводит к случаям возникновения многократно повторяющихся за достаточно короткий период времени замыканий и, в конечном счете, переходу из режима однофазного к более тяжелому междуфазному короткому замыканию.

Защита от однофазных замыканий на землю (ЗЗНЗ) карьера, действующая на отключение, выполняется двухступенчатой. Первая ступень защиты без выдержки времени устанавливается на наиболее удаленных РП карьера ЗЗНЗ (1) и на смежных со второй ступенью ответвлений КРП или ПС ЗЗНЗ (1, 2). Вторая ступень защиты ЗЗНЗ (2) имеет выдержку времени не более 0,5 с и устанавливается на магистральных фидерах КРП или ПС, по которым осуществляется передача электроэнергии на удаленные РП карьера.

Распределение аварийных отключений по видам и ступеням защиты на КРП-6 кВ карьера Удачнинского ГОКа по месяцам года (табл. 1) показало, что число срабатываний устройств

Таблица 1

Распределение числа аварийных отключений в результате срабатывания релейной защиты на КРП-6кВ карьера «Удачный»

Месяц	Число отключений						Итого по всем видам защит
	1-я ступень ЗЗНЗ (1)	1-я ступень ЗЗНЗ (1,2)	2-я ступень ЗЗНЗ (2)	Итого по ЗЗНЗ	ЗЗНЗ+ +МТЗ	МТЗ	
I	35	8	2	45	1	4	50
II	27	2	3	32	2	8	42
III	21	7	4	32	1	12	45
IV	49	40	5	94	8	10	112
V	50	36	6	92	6	10	108
VI	55	32	2	89	2	7	98
VII	49	14	9	72	1	13	86
VIII	38	16	3	57	2	9	68
IX	44	36	4	84	3	12	99
X	42	13	7	62	1	17	80
XI	31	11	2	44	3	6	53
XII	29	12	3	44	3	9	56
Итого	470	227	50	747	33	117	897

релейной защиты распределилось следующим образом: 52,4 % - 1-я ступень защиты от замыканий на землю ЗЗНЗ (1), установленная на РП-1 и РП-2; 1-я ступень защиты от замыканий на землю ЗЗНЗ (1, 2), установленная на РП-3 и совмещенная со 2-ой ступенью; 5,6 % - 2-я ступень защиты ЗЗНЗ (2), установленная на РП-3; 3,75 % - одновременное срабатывание защиты от замыкания на землю и максимальной токовой защиты (ЗЗНЗ+МТЗ); 13 % - максимальная токовая защита (МТЗ).

Анализ показывает, что для КРП-6 кВ на общее число срабатываний защит от однофазных замыканий на землю приходится 83,3 %, и только 13 % на срабатывание максимальной токовой защиты при междуфазных коротких замыканиях. Следует отметить, что несмотря на незначительное число срабатываний защит 2-ой ступени (5,6 %), именно на их долю приходится наибольшее (до 80 %) число неселективных срабатываний защит 1-й ступени.

Распределение аварийных отключений видам и ступеням защиты на подстанции фабрики ПС-Ф11, осуществляющей дополнительно питание потребителей карьера, по месяцам года (табл. 2) показало, что число срабатываний устройств релейной защиты распределилось следующим образом: 49 % - 1-я ступень защиты от замыканий на землю ЗЗНЗ (1), установленная на РП-4; 30,7 % - 1-я ступень защиты от замыканий на землю ЗЗНЗ (1, 2), установленная на РП-5 и совмещенная со 2-ой ступенью; 7,6 % - 2-я ступень защиты ЗЗНЗ(2), установленная на РП-5; 3,2 % - од новременное срабатывание защиты от замыкания на землю и максимальной токовой защиты (ЗЗНЗ+МТЗ); 9,5 % - максимальная токовая защита (МТЗ).

Сравнительный анализ данных табл. 1 и табл. 2 показывает, что процентное соотношение числа срабатываний по видам и ступеням установки защит практически совпадает. При этом наиболее частыми являются аварийные отключения, повлекшие за собой срабаты-

Таблица 2

Распределение числа аварийных отключений в результате срабатывания релейной защиты на ПС-Ф11 карьера «Удачный»

Месяц	Число отключений при срабатывании защиты						Итого по всем видам защит
	1-я ступень ЗЗНЗ (1)	1-я ступень ЗЗНЗ (1,2)	2-я ступень ЗЗНЗ (2)	Итого по ЗЗНЗ	ЗЗНЗ+ +МТЗ	МТЗ	
I	38	7	3	48	1	3	52
II	31	16	2	49	2	4	55
III	17	24	1	42	2	4	48
IV	21	12	2	35	2	6	43
V	27	22	5	54	1	8	63
VI	14	25	7	46	1	2	49
VII	21	17	8	46	1	1	48
VIII	19	8	3	30	2	4	36
IX	18	16	6	40	2	8	50
X	26	13	4	43	1	6	50
XI	32	9	1	42	3	6	51
XII	25	12	3	40	1	4	45
Итого	289	181	45	515	19	56	590

вание защит от однофазных замыканий на землю ЗЗНЗ.

Анализ динамики таких отключений позволяет определить характер их распределения. В связи с этим допустимо представить исходные данные в виде временных рядов Фурье, полученных в результате спектрального анализа (табл. 3). При этом параметрами, определяющими взаимосвязь численных последовательностей статистического и эмпирического рядов, приняты коэффициент взаимной корреляции $r_{N,\overline{N}}$ и стандартное отклонение σ, соответствующее среднеквадратичной погрешности [3].

Анализ уравнений динамики, представленных в табл. 3, показал, что наибольшее число аварийных отключений (более 80 в месяц) приходится на период с апреля по июнь включительно. Устойчиво высокий уровень аварийных отключений (более 60 в месяц) удерживается в период с апреля по октябрь включительно. В период с ноября по апрель происходит существенное снижение числа аварийных отключений с минимально устойчивым уровнем (до 30 в месяц). Все это свидетельствует о явном сезонном характере распределения числа аварийных отключений в течение года.

В результате обработки статистических данных по распределению числа аварийных отключений по времени суток были получены уравнения динамики, приведенные в табл. 4.

Анализ зависимостей показал, что для КРС- 6 кВ Удачнинского ГОКа характерным является увеличение числа отключений в интервалы времени 4.00-6.00. 8.00-12.00, 16.00-18.00 и 20.00-22.00, т.е. приходящиеся на периоды наиболее интенсивного ведения работ. При этом минимальной количество отключений приходится на последний час смены (пересмена 7.00-8.00 и 19.00-20.00). Наибольшее число отключений приходится на интервал времени 14.00-19.00. При этом общая тенденция снижения числа аварийных отключений в

Таблица 3

Уравнения динамики аварийных отключений на карьере Удачнинского ГОКа по месяцам года

Вид защиты	Уравнение динамики	$r_{N,\overline{N}}$	σ
КРП			
ЗЗНЗ	$\overline{N}_{от} = 62{,}25 - 22{,}94\cos t + 6{,}42\sin t - 9{,}00\cos 2t - 9{,}24\sin 2t$	0,86	11,5
ЗЗНЗ и МТЗ	$\overline{N}_{от} = 74{,}75 - 24{,}89\cos t + 6{,}81\sin t - 12{,}75\cos 2t - 8{,}81\sin 2t$	0,87	12,1
ПС-Ф11			
ЗЗНЗ	$\overline{N}_{от} = 42{,}9 + 1{,}38\cos t + 2{,}77\sin t + 1{,}58\cos 2t - 3{,}03\sin 2t$	0,53	5,2
ЗЗНЗ и МТЗ	$\overline{N}_{от} = 49{,}17 + 1{,}67\cos t + 2{,}19\sin t - 1{,}08\cos 2t - 2{,}74\sin 2t$	0,47	5,56

Таблица 4

Уравнения динамики аварийных отключений на карьере УГОКа по времени суток

Узел нагрузки	Уравнение динамики	$r_{N,\overline{N}}$	σ
КРП	$\overline{N}_{от} = 29{,}67 - 3{,}12\cos t + 8{,}54\sin t - 4{,}71\cos 2t - 2{,}52\sin 2t$	0,64	8,9
ПС-Ф11	$\overline{N}_{от} = 20{,}88 - 2{,}31\cos t + 2{,}35\sin t + 0{,}95\cos 2t - 1{,}4\sin 2t$	0,43	6,2
КРС-6	$\overline{N}_{от} = 50{,}54 - 6{,}72\cos t - 10{,}15\sin t - 1{,}5\cos 2t + 5{,}2\sin 2t$	0,64	11,5

сетях характерна только для ночной смены с 20.00 до 8.00.

Анализ гармонических рядов (табл. 1 и табл. 2) в целом позволяет сделать вывод о том, что динамика аварийных отключений при срабатывании релейной защиты имеет сезонный характер, что обусловлено принятой технологией разработки месторождения, системой организации ведения работ, а также существенным влиянием климатических факторов.

Полученные в результате математического анализа зависимости могут быть использованы для анализа динамики аварийных отключений в карьерных распределительных сетях, оценки надежности работы электрооборудования и сетей, а также оценке эффективности мероприятий, направленных на снижение числа аварийных отключений в процессе эксплуатации КРС-6 кВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Щуцкий В.И., Пичуев А.В.* Управление электробезопасностью на открытых горных работах. «Электробезопасность», № 4, 1988.
2. *Щуцкий В.И., Маврицын А.М., Сидоров А.И., Ситчихин Ю.В.* Электробезопасность на открытых горных работах. – М.: Недра, 1983.
3. *Пугачев В.С.* Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Наука, 1979.

Коротко об авторах

Пичуев А.В. – Московский государственный горный университет.