

Виктор Вениаминович КУРЕХИН

Кухбасский политехнический институт

ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В СЕТЯХ РАЗРЕЗОВ ПРИ КОММУТАЦИИ
ДВИГАТЕЛЕЙ ЭКСКАВАТОРОВ ВАКУУМНЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ

Резюме. В статье предложены результаты экспериментальных исследований коммутационных перенапряжений при отключении синхронных двигателей экскаватора ЭКТ-12.5 вакуумным выключателем. Полученные в работе материалы дают достаточно полную статистическую характеристику перенапряжений на шинах подстанции 11⁰⁰ группы и на обмотках синхронных двигателей при отключении в условиях реально существующих сетей угольных разрезов региона.

Надежная и безопасная работа высоковольтного электрооборудования и распределительных сетей горных предприятий определяется уровнем изоляции, координация которого должна основываться на известных амплитудах и формах волн воздействующих перенапряжений. Специфика эксплуатации передвижных карьерных электроустановок связана с частой коммутацией сетевых двигателей экскаваторов в режиме холостого хода.

В связи с широким применением вакуумных коммутационных аппаратов в схемах электроснабжения горных предприятий [1] актуальной стала проблема коммутационных перенапряжений, так как в процессе эксплуатации наблюдаются повреждения элементов в наиболее низком уровне импульсной прочности изоляции.

Электрические нагрузки в схемах электроснабжения карьеров формируются в основном высоковольтными двигателями приводов экскаваторов и буровых станков. Поэтому наиболее частым видом коммутационных перенапряжений в таких сетях являются перенапряжения при плановых и аварийных коммутациях вышеуказанных машин.

Результаты исследований [2] показывают, что характеристики перенапряжений сильно различаются в зависимости от точки присоединения электрооборудования и параметров исследуемой сети: на шинах подстанции, на силовых трансформаторах и электрооборудовании.

Определенное влияние на уровень перенапряжений на подстанциях оказывает число приходящих (а) и отходящих (б) линий. Число отходящих линий, несмотря на большую условность влияния этого параметра, воздействует на характеристику перенапряжений. С одной стороны, увеличение числа линий почти пропорционально увеличивает годовое количество коммутаций; с другой стороны, каждая линия поглощает часть энергии коммутационной волны перенапряжения и снижает тем самым их амплитуду.

Если число отходящих линий изменяется от 2 до 4, то влияние этих двух факторов взаимно уравниваются [2] и ожидаемую величину перенапряжений можно считать неизменной. При числе линий более 4 их демпфирующее влияние начинает преобладать и ожидаемые кратности на шинах подстанций должны предположительно снижаться.

В связи с вышеизложенным вся совокупность обследуемых подстанций региона была разбита на группы в зависимости от числа приходящих и отходящих линий (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика подстанций угольных разрезов региона

Группа подстанций	1	II	III	IV
Отношение а/в	0,1-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	более 0,6
Количество подстанций, %	13,3	55,7	17,7	13,3

Результаты обследований подстанций угольных разрезов региона показали, что 55,7% их относится ко II^{ой} группе. В связи с этим большой интерес представляют перенапряжения, возникающие при коммутации вакуумными выключателями мощных сетевых двигателей экскаваторов в распределительных сетях подстанций II^{ой} группы, как наиболее представительной из всей совокупности.

Поэтому для исследования коммутационных перенапряжений была выбрана подстанция 110/35/6 кВ. одного из разрезов региона относящаяся ко II^{ой} группе ($a=2$; $v=7$). Были проведены исследования процессов коммутации вакуумным выключателем ВВП-10-20/630 синхронного электродвигателя типа СД мощностью 1500 кВт установленного на экскаваторе ЭКТ-12,5. Принципиальная электрическая схема регистрации перенапряжений при коммутации на двигателе и в сети представлена на рис.1, которая позволяла фиксировать перенапряжения при отключении сетевого двигателя экскаватора.

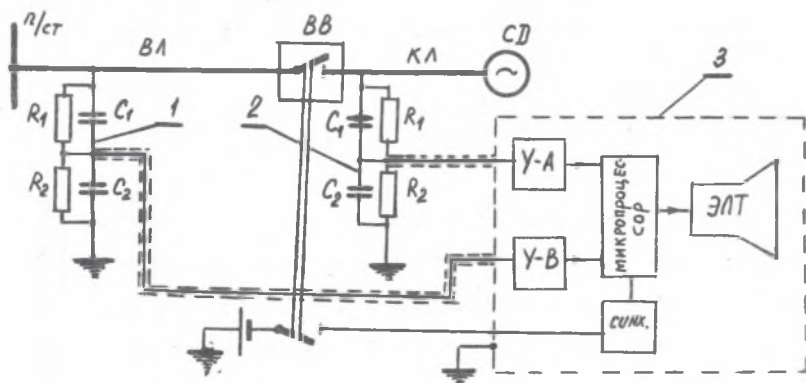


Рис.1 Схема регистрации процессов коммутации вакуумным выключателем синхронного двигателя экскаватора

1,2-делители напряжения; 3-запоминающий электронный осциллограф С9-8 со встроенным микропроцессором; СД-синхронный двигатель экскаватора; ВВ-вакуумный выключатель; ВЛ, КЛ-воздушная и кабельная линии

Fig. 1. Scheme of commutation processes monitoring for vacuum circuit breaker of synchronous excavator drive

1-2 - voltage dividers; 3 - oscillograph with memory; CD - synchronous excavator drive; BB - vacuum circuit breaker, BL, KL - overhead and cable lines

В настоящее время не существует общепринятой методики расшифровки временных параметров коммутационных перенапряжений, полученных при измерениях в сетях.

В основу расшифровки осциллограмм взяты рекомендации [3, 4], согласно которым начало отсчета временных параметров перенапряжений получают путем пересечения прямой с осью абсцисс, ординаты точек которых соответствуют напряжениям 0,1 и 0,3 от U_{\max} (рис. 2).

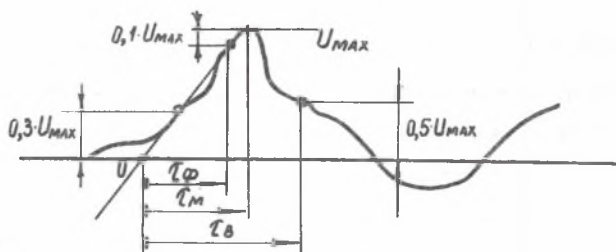


Рис. 2. К методике расшифровки осциллограмм коммутационных перенапряжений. U_{\max} - максимальное значение перенапряжений; τ_{ϕ} - фронт волны; τ_M - максимум фронта волны; τ_B - длина волны

Fig. 2. Method of commutation overvoltage oscillogram analysis. U_{\max} - maximum value of overvoltage, τ_{ϕ} - wave-front, τ_M - maximum of wave-front, τ_B - wave-length

С целью уменьшения общей погрешности определения параметров волн коммутационных перенапряжений фазы, которые коммутировались первыми, были исключены из рассмотрения. При этом предполагали, что параметры волн коммутационных перенапряжений имеют пофазно одинаковые статистические характеристики.

Результаты обработки осциллограмм показали, что теоретические функции распределения случайных параметров волн коммутационных перенапряжений при отключении вакуумным выключателем синхронного двигателя описываются законами:

$$\text{нормальным } P(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2 \cdot S^2}}; \quad (1)$$

$$\text{логарифмически-нормальным } P(x) = \frac{1}{x \cdot B \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln x - A)^2}{2 \cdot B^2}}; \quad (2)$$

где X -параметр распределения волн коммутационных перенапряжений ($K, \tau_f, \tau_m, \tau_d$);

A, B, S, \bar{X} -коэффициенты распределения.

В табл.2 представлены значения коэффициентов функций распределения кратностей (K), фронта волн (τ_f), максимумов (τ_m) и длины (τ_d) волн коммутационных перенапряжений на синхронном двигателе и в сети. Графическая иллюстрация коммулятивных функций распределения случайных параметров волн перенапряжений в полулогарифмическом масштабе представлена на рис.3 и 4.

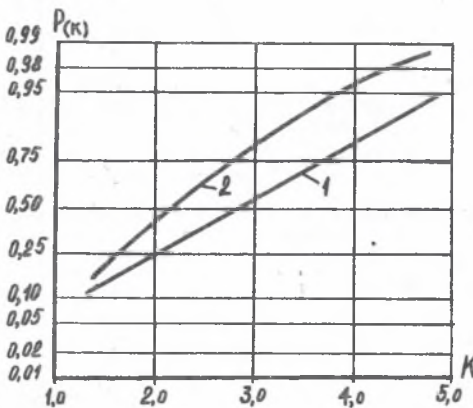


Рис. 3. Коммулятивные функции распределения кратностей перенапряжений
1 - на синхронном двигателе; 2 - в распределительной сети

Fig. 3. Cumulative functions of overvoltage multiplication distribution
1 - in synchronous drive, 2 - in distribution network

Сопоставление данных табл.2 показывает, что математическое ожидание кратности перенапряжений на двигателе при отключении его вакуумным выключателем превышает математическое ожидание кратности перенапряжения в сети. Этот факт еще раз подтверждает, что число отходящих линий (отношение a/b) влияет на уровень перенапряжений в сети, частично демпфируя их.

В результате обработки экспериментальных данных было установлено, что между случайными параметрами перенапряжений в сети и кратностью перенапряжений на сетевом двигателе экскаватора существует корреляционная связь (табл.3).

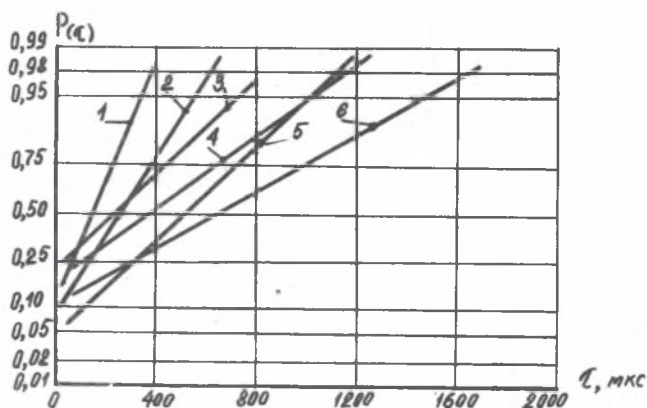


Рис. 4. Коммулятивные функции распределения временных параметров волн перенапряжений

1, 2, 5 - на синхронном двигателе; 3, 4, 6 - в распределительной сети;
1, 3 - фронт волны; 2, 4, - максимум фронта волны; 5, 6 - длина волны

Fig. 4. Cumulative functions of distribution of time parameters of over-voltage wave

1, 2, 5 - in synchronous drive; 3, 4, 6 - in distribution network;
1, 3 - wave front; 2, 4 - maximum of wave-front; 5, 6 - wave length

Таблица 2

Параметры распределения волн коммутационных перенапряжений
при отключении синхронного двигателя экскаватора ЭКГ-12,5
вакуумным выключателем

№ п/п	Наименование параметра	Закон распре- деления	M(x)	σ	Параметры распределения			
					S	A	B	X̄
СЕТЬ								
1.	Кратность, K_n	нормал.	2,19	0,54	0,54	-	-	2,19
2.	Фронт волны, τ_f *	логар.- нормал.	251	200	-	5,27	0,70	-
3.	Максимум фронта, τ_m *	-"	393	271	-	5,77	0,62	-
4.	Длина волны, τ_b *	-"	675	326	-	6,41	0,46	-
ДВИГАТЕЛЬ								
5.	Кратность, K_n	-"	2,87	0,80	-	1,02	0,27	-
6.	Фронт волны, τ_f *	-"	164	82	-	4,99	0,47	-
7.	Максимум фронта, τ_m *	-"	268	118	-	5,50	0,42	-
8.	Длина волны, τ_b *	-"	510	224	-	6,15	0,42	-

* -размерность временных параметров в мкс.

По оценке технического комитета МЭК новой изоляцией высоковольтных электродвигателей должны быть обеспечены гарантированные импульсные напряжения: при номинальном напряжении 3,3;6;10 кВ коэффициент импульса рекомендуется принимать равным $K_{имп}=5,1;4,8;4,6$, что должно обеспечить гарантированное импульсное напряжение $U_{имп}=13,7;23,5;37,6$ кВ.

Таблица 3
Уравнения регрессии между кратностью перенапряжений в сети (K_C) и временными параметрами волны ($\tau_{ф.с.}$, $\tau_{м.с.}$, $\tau_{д.с.}$) от кратности перенапряжений на двигателе

№ пп	Функциональная зависимость	Коэффициенты регрессии			Коррел. отнош. R	Уравнение регрессии
		A	B	C		
1.	$K_C = f(K_D)$	-1,24	2,94	-0,46	0,525	$K_C = C \cdot K_D^2 + B \cdot K_D + A$
2.	$\tau_{ф.с.} = f(K_D) *$	288	-43	0	0,440	$\tau_{ф.с.} = A + B/K_D$
3.	$\tau_{м.с.} = f(K_D) *$	322	33	-17	0,459	$\tau_{м.с.} = C \cdot K_D^2 + B \cdot K_D + A$
4.	$\tau_{д.с.} = f(K_D) *$	195	307	-64	0,333	$\tau_{д.с.} = C \cdot K_D^2 + B \cdot K_D + A$

* - размерность временных параметров в мкс.

Значения гарантированных импульсных напряжений для новой изоляции выше, чем амплитуды перенапряжений при отключении токов холостого хода синхронных двигателей экскаваторов.

В процессе экспериментальных исследований установлено, что при математическом ожидании $M_{(K_D)}=2,87$ максимальная зафиксированная кратность перенапряжения на двигателе составила $K_{д.макс}=4,8$ (22кВ). Таким образом, новая изоляция высоковольтных двигателей экскаваторов при отключении их вакуумными выключателями работает на пределе своей импульсной прочности (23,5кВ \approx 22 кВ). Для двигателей находящихся в эксплуатации длительное время $K_{имп}=2,9$ (14,3кВ), что значительно меньше гарантированной импульсной прочности для номинального напряжения 6 кВ.

Несмотря на умеренный уровень коммутационных перенапряжений воздействующих на синхронные двигатели экскаваторов при отключении их вакуумными выключателями представляют опасность для их изоляции.

Определенные экспериментальным путем волновые параметры коммутационных перенапряжений являются основой для разработки эффективных средств глубокого ограничения их до безопасных уровней и следует рассматривать как меру улучшения режима работы и безопасности систем электроснабжения горных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Разгильдеев Г.И., Курехин В.В.: Эксплуатация вакуумных выключателей в электрических сетях горных предприятий. "Недра", М., 1988.
- [2] Половой И.Ф., Михайлов Ю.А., Халилов Ф.Х.: Перенапряжения на электрооборудовании высокого и сверхвысокого напряжения. "Энергия", Л., 1975.
- [3] Руководство по безопасности эксплуатации электрооборудования и электрических сетей угольных разрезов. ИГД им. А.А. Скочинского, М., 1985.
- [4] Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Проектирование и расчет. "Техника", Киев, 1985.

CHARAKTERYSTYKA PRZEPIĘĆ W SIECIACH KOPALŃ ODKRYWKOWYCH PRZY WYŁĄCZANIU SILNIKÓW KOPAREK ŁĄCZNIKAMI PRÓŻNIOWYMI

S t r e s z c z e n i e

W referacie przedstawiono wyniki badań przepięć łączeniowych wywołanych wyłączeniem silników synchronicznych koparek typu EKG-12.5 wyłącznikami próżniowymi. Uzyskane wyniki badań umożliwiają ocenę statystyczną w postaci empirycznego rozkładu przepięć w sieci rozdzielczej (na szynach stacji transformatorowo-rozdzielczej) oraz na uzwojeniach silników synchronicznych. Badania przeprowadzono w warunkach rzeczywistych sieci rozdzielczych odkrywkowych kopalń węgla.

Specyfika eksploatacji przewoźnych (ruchomych) urządzeń elektroenergetycznych w kopalniach polega między innymi na częstym łączeniu silników, koparek i urządzeń wiertniczych w stanie jałowym. Stosowanie obecnie w szerokim zakresie wyłączników próżniowych w sieciach kopalnianych WN (w ZSRR) powoduje wzrost znaczenia problemu narażeń przepięciowych oraz środków ochrony i zabezpieczeń w tych sieciach. Z badań [2] wynika, że charakter przepięć łączeniowych w takich sieciach zależy w dużym stopniu od miejsca przyłączenia silników i parametrów badanej sieci, w tym od liczby linii dopływowych i odpływowych stacji (tablica 1).

Badania eksploatacyjne przeprowadzono w sieci zasilanej ze stacji 110/35/6 kV (rys. 1). Statystyczne opracowanie wyników badań potwierdza normalny i logarytmo-normalny rozkład prawdopodobieństwa przepięć o pa-

parametrach rozkładu podanych w tablicy 2 i krotnościach skumulowanych wynikających z rys. 3 i 4. Oczekiwane wartości krotności przepięć na uzwojeniach silników są większe niż krotności przepięć w sieci (na szynach stacji). Związki korelacyjne przepięć na uzwojeniach silników oraz w sieci przedstawiono w tablicy 3.

Uzyskane wyniki badań pozwalają określić wstępnie bezpieczne poziomy izolacji oraz mogą być podstawą wyboru efektywnej ochrony przepięciowej sieci kopalnianej.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Florian Krasucki