

## СПОСОБНОСТЬ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ КОММУТИРОВАТЬ ПРЕДЕЛЬНЫЕ ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Серета А.Г., к.т.н., доц.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"  
Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ", кафедра "Электрические аппараты"  
тел. (057) 707-68-64, E-mail: kbv@kpi.kharkov.ua, evl@kpi.kharkov.ua

*Розглядається можливість застосування композитних матеріалів на основі срібла з додаванням тугоплавких складових частин в якості головних контактів струмообмежуючих автоматичних викивачів підвищеного граничного струму короткого замикання типу ВА57-35.*

*Рассмотрена возможность применения композитных материалов на основе серебра с добавлением тугоплавких составных частей в качестве главных контактов токоограничивающих автоматических выключателей повышенной предельной коммутационной способности типа ВА57-35.*

Способность токоограничивающих автоматических выключателей многократно коммутировать предельные токи короткого замыкания главным образом определяется электрофизическими свойствами металлокерамических контактов. Эрозионное разрушение рабочих поверхностей контактов является следствием термического действия электрической дуги. Материал контактов расплавляется под опорным пятном дуги, в результате чего разбрызгивается, испаряется и окисляется. Переходное сопротивление контакта при этом резко возрастает.

Чтобы уменьшить или воспрепятствовать переносу материала контактов в дуге, необходимо использовать материалы, обладающие высокими теплофизическими свойствами: высокой температурой плавления и кипения, хорошей тепло и электропроводностью. В автоматических выключателях серии А3700 успешно применяется контактная пара КМК-А30-КМК-А32м. Однако при разработке серии малогабаритных автоматических выключателей, с тепловыми и электромагнитными расцепителями, возникают трудности, связанные с разрушением поверхностного слоя контактов при отключении токов короткого замыкания, увеличением переходного контактного сопротивления и, как следствие, перегревом токоведущих частей. Увеличение мощности электрической дуги в малогабаритных автоматических выключателях объясняется отсутствием двойной электродинамической петли, ограничивающей скорость роста тока короткого замыкания в выключателях серии А3700.

Целью работы является сравнительное исследование свойств различных контактных пар на нагрев и износостойкость при коммутации номинальных токов и предельных токов короткого замыкания.

В процессе работы коммутирующие контакты выполняют две функции: длительно проводят номинальный ток в замкнутом состоянии и разрывают или замыкают электрическую цепь тока. В режиме длительного протекания тока в качестве критерия работоспособности выбиралось установившееся превышение температуры на выводах выключателей, которое в значительной степени определяется переходным сопротивлением главных контактов.

Исследовалось 14 образцов автоматических выключателей типа ВА 57-35 на номинальный ток 250А. В выключатели были установлены различные контактные пары в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Номер образца	Материал контактов	
	Подвижные контакты	Неподвижные контакты
1-2	КМК-А30	КМК-А32
3-4	КМК-А30	КМК-А32м
5-6	КМК-А30м	КМК-А32м
7-8	КМК-А30м	КМК-А10м
9-10	КМК-А32м	КМК-А10м
11-12	КМК-А10м	КМК-А32м
13-14	Ag-W-CW	КМК-А10м

Уменьшить переходное сопротивление можно, увеличив контактное нажатие. Зависимости переходного сопротивления в функции контактного нажатия, приведенные в [1-4], как правило, относятся к одноименным контактным парам. Чтобы избежать сваривания контактной пары в токоограничивающих автоматических выключателях подвижные и неподвижные контакты состоят из разноименных композитов. Кроме того, в известной литературе отсутствуют данные о зависимости переходного сопротивления в функции контактного нажатия после эрозии контактных поверхностей под действием дугового разряда. Учитывая этот факт, в начале исследования определялась зависимость переходного сопротивления контактных пар (табл. 1) в функции контактного нажатия новых (зачищенный) контактов и после коммутации токов короткого замыкания.

Исследования проводились на специальной установке, позволяющей регистрировать падение напряжения на контактной паре при изменении контактного нажатия в сторону увеличения. Контактная пара устанавливалась в опытный образец автоматического выключателя.

Переходное сопротивление определялось как

$$R_{\text{п}} = \frac{\Delta U}{I},$$

где  $\Delta U$  – падение напряжения на контактах;  $I$  – ток через контакты.

Автоматический выключатель с известной контактной парой устанавливали на экспериментальную установку. Непосредственно перед установкой контактные поверхности предварительно очищались от окисных пленок. С помощью разновесов выставлялось требуемое контактное нажатие. Затем через контакты пропускался постоянный ток 200А при пониженном напряжении. Сила тока в 200А при номинальном токе выключателя 250А была выбрана, чтобы исключить существенный нагрев контактов и интенсивное их окисление. Падение напряжения на контактах фиксировалось вольтметром.

Зависимость переходного контактного сопротивления разнородных контактных пар в функции контактного нажатия для новых контактов и после коммутации предельных токов короткого замыкания показана на рис. 1. На рисунке обозначено:

- кривая 1 – контактная пара КМК-А32м–КМК-А10м;
- кривая 2 – контактная пара КМК-А30м–КМК-А32м;
- кривая 3 – экспериментальная контактная пара Ag-W-CW–КМК-А10м;
- кривая 4 – контактная пара КМК-А30–КМК-А32;
- кривая 5 – контактная пара КМК-А10м–КМК-А32м;
- кривая 6 – контактная пара КМК-А30м–КМК-А10м;
- кривая 7 – контактная пара КМК-А30–КМК-А32м.

Как видно из графиков при усилиях свыше 80Н переходные сопротивления новых контактных пар 4, 5, 6, 7 отличались незначительно.

На следующем этапе каждым выключателем было произведено по две коммутационные операции "О" (отключение) и "ВО" (включение-отключение) в трехфазной цепи с частотой 50Гц, при напряжении 420В,  $\cos \varphi = 0,35$ . Ожидаемое эффективное значение тока испытательной цепи 55кА. Наибольшие значения пропускаемого тока сведены в табл. 2. После коммутации предельного тока минимальное переходное сопротивление имеет контактная пара КМК-А30м–КМК-А10м.

Затем было произведено по 2000 операций "ВО" номинального тока 250А при напряжении 380В, частоты 50Гц,  $\cos \varphi = 0,8$ .

В соответствие с требованиями нормативно-технической документации после коммутации номинальных токов и предельных токов короткого замыкания превышение температуры выводных зажимов не должно превышать 80°С. Нагрев выключателей проводили в цепи трехфазного тока частоты 50Гц. Полосы выключателей подсоединяли медными проводами типа ПРГ сечением 120 мм<sup>2</sup>. Температура окружающего воздуха 40°С. Превышение температуры выводных зажимов определяли при помощи термопар типа хромель-копель с диаметром электрода 0,5 мм, длиной 1,5 м. Результаты исследования на нагрев приведены в табл. 3.

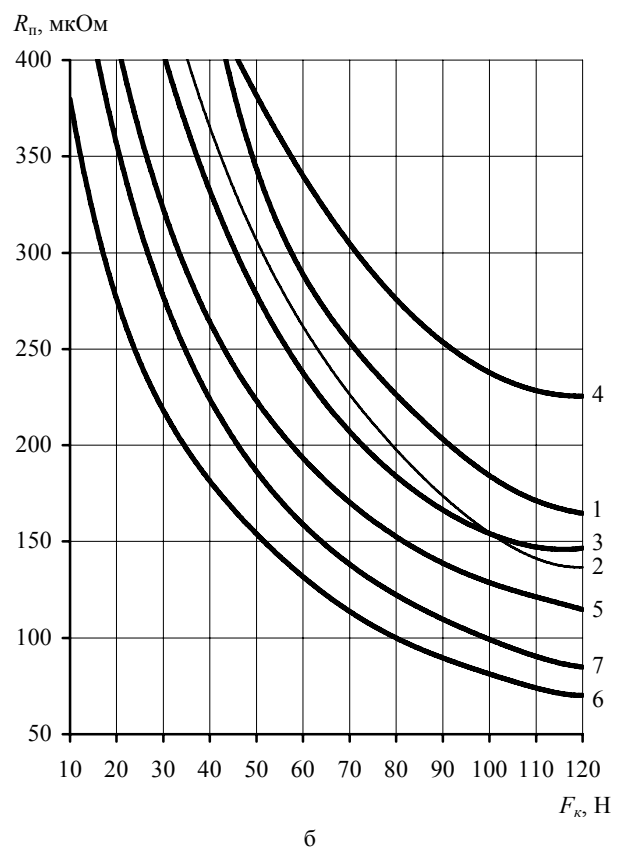
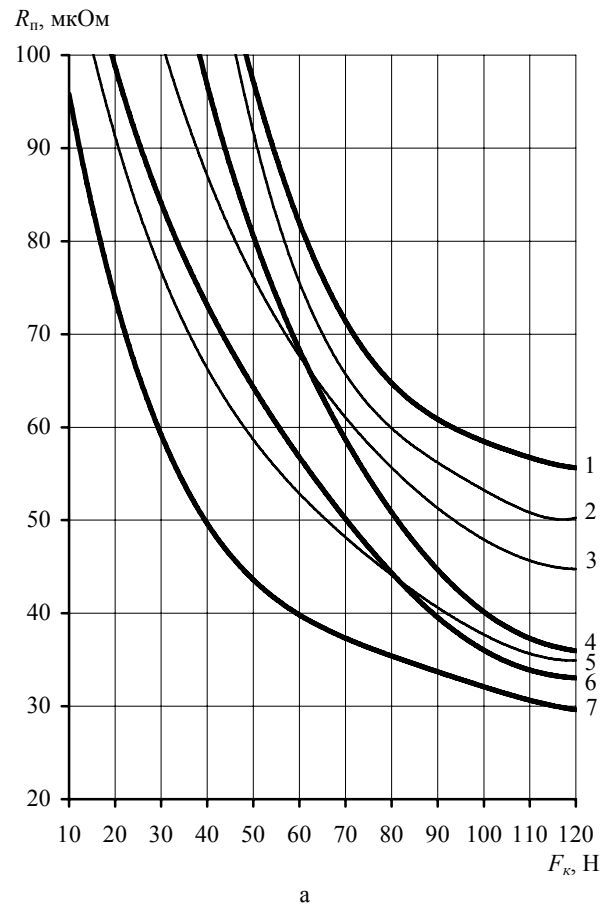


Рис. 1. Зависимость переходного сопротивления от силы контактного нажатия: а – для зачищенных контактов; б – после коммутации предельных токов

Таблица 2

Образец	Операция	Наибольшее значение тока через полюс, кА			Время отключения, мс
		левый	средний	правый	
1	О	21	29	38	11,0
	ВО	44	51	26	11,0
2	ВО	50	41	35	10,5
	О	43	47	20	11,5
3	ВО	23	53	45	12,0
	О	35	32	46	12,0
4	ВО	38	19	41	12,0
	О	39	33	47	10,4
5	ВО	35	52	36	10,6
	О	54	47	28	11,0
6	ВО	36	46	49	11,3
	О	45	51	22	11,1
7	ВО	37	27	51	11,5
	О	54	48	37	12,5
8	ВО	29	51	45	12,0
	О	39	35	50	13,0
9	ВО	36	36	49	13,0
	О	39	37	49	11,5
10	ВО	35	36	53	12,0
	О	52	45	31	12,0
11	ВО	27	53	47	11,5
	О	46	41	30	11,5
12	ВО	47	34	38	11,5
	О	26	53	48	14,0
13	ВО	55	37	42	14,0
	О	53	42	40	13,5
14	ВО	40	58	47	14,0

Таблица 3

Образец	Полюс выключателя					
	Верхний зажим			Нижний зажим		
	левый	средний	правый	левый	средний	правый
1	110	105	96	76	75	73
2	98	89	103	74	70	75
3	76	80	77	64	67	66
4	75	67	150	63	60	93
5	74	85	78	68	67	65
6	78	81	83	67	70	76
7	60	70	64	53	61	54
8	61	69	64	57	58	57
9	57	84	75	57	62	65
10	100	65	118	77	60	85
11	67	102	68	61	80	65
12	97	54	87	74	60	70
13	74	78	158	61	64	98
14	137	70	134	88	60	89

#### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Контактные пары, содержащие графит (образцы №№1-6, 9-12), не могут быть использованы как главные контакты выключателей типа ВА57-35, так как превышения температуры верхних выводных зажимов значительно выше допустимых значений.

После зачистки поверхностного слоя подвижного контакта (КМК-А30) переходное сопротивление контактных пар не изменилось. После зачистки поверхностного слоя неподвижного контакта (КМК-А32) переходное сопротивление резко уменьшилось. Таким образом, причиной резкого увеличения переходного сопротивления контактной пары КМК-А30–КМК-А32 является поверхностный слой композита неподвижного контакта.

Металлографический анализ неподвижного контакта показал, что поверхностный слой состоит из частиц никеля и серебра. Твердость серебра не изменилась. В то же время твердость никеля после испытания на ПКС стала выше за счет поверхностного науглераживания никеля.

2. Экспериментальная контактная пара Ag-W-CW–КМК-А10м не может быть использована как главные контакты выключателей типа ВА57-35.

В то же время анализ материала Ag-W-CW показал незначительный износ контактных поверхностей, по сравнению с контактом КМК-А10м. Поверхность вольфрамового композита гладкая с отдельными вкраплениями желтого цвета и черным налетом. Контакты из композита КМК-А10м имеют глубокие поперечные трещины от поверхности вглубь контактных напаяек. Возникновение трещин связано с резким различием в твердости материалов контактных пар.

3. Представляет интерес тот факт, что переходное сопротивление контактной пары Ag-W-CW–КМК-А10м резко увеличилось после коммутации номинальных токов, а не после испытаний на ПКС, как в случае других контактных пар.

4. Контактная пара КМК-А30м–КМК-А10м обладает высокой эрозионной устойчивостью. Контактные поверхности изношены незначительно.

#### ВЫВОДЫ

1. Оптимальными с точки зрения температурно-го режима после коммутации номинальных токов и токов ПКС являются контактные пары КМК-А30м–КМК-А10м.

2. Ввиду высокой износостойкости композита Ag-W-CW необходимо провести дополнительные испытания этого материала в паре с серебрографитовыми композитами на различных сериях автоматических выключателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Таев И.С. Электрические аппараты. – М.: Энергия, 1977. – 272с.
- [2] Усов В.В. Металловедение электрических контактов. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 206с.
- [3] Хольм Р. Электрические контакты. – М.: Изд-во иностр. литературы, 1961. – 463с.
- [4] Буль В.К., Буткевич Г.В. Основы теории электрических аппаратов. – М.: Высшая школа, 1970. – 597с.

Поступила 10.02.2005