

## ШТЕПСЕЛЕННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Стефан Чобанов<sup>1</sup>, Иван Иванов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> СМС-С ЕООД, 2070 Пирдоп

<sup>2</sup> МП-МЕТАЛЛПЛАСТ АД, 2070 Пирдоп

**РЕЗЮМЕ:** Необходимость штепсельных соединений для сравнительно большого тока 250А и напряжении 1000V связывается с нарастанием мощности и разширенного применения передвижных шахтных машин в горнорудной промышленности и в частности для ГРП "Челопеч".

### PLUG CONNECTIONS FOR MINING INDUSTRY

**Stefan Chobanov<sup>1</sup>, Ivan Ivanov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> СМС-С Electrical engineering

<sup>2</sup> МР Metalplast АД, 2070 Пирдоп

**ABSTRACT.** The necessity of plug connections for relatively big current of 250A and voltage 1000V is related to increasing of power and wide application of the portable mining machines in the mining industry and in particular for "Chelopech" mine.

### Введение

Доставка штепсельных соединителей (Ш.С.) для тока до 125А и напряжения до 690VAC не является проблемой, так как они предлагаются многими производителями в Европе. Ш.С. для большего тока и для напряжения 1000V встречаются очень редко.

Это и есть мотивы для разрабатывания и производства в СМС-С Электроинженеринг, совместно с Металлпласт необходимых Ш.С. для 250А и напряжения 1000V с 4 контактными соединениями (ЗР+РЕ) для применения в рудничных IT сетях с изолированной нейтралью.

### Вычисления основных параметров

Вычисления для определения основных параметров и размеров контактного соединения сделаны для Ш.С. с токами 250А и 400А. Они охватывают: контактную силу, геометрических размеров контактного соединения, токов сваривания, тока термической устойчивости в режиме короткого замыкания, при воспринятой розеточной системы, в качестве самой подходящей.

#### 1. Контактная сила

- 1.1. Контактная сила, приведенная к 1 пластине в розеточной конструкции

$$F_k = \Delta F_k I_n \quad (1)$$

где  $\Delta F_k$  - контактная сила для 1А;  $\Delta F_k = 0.15 N / A$  [1]

при одной контактной пластине, контактная сила будет:

для тока 250А

$$F_k^{(1)} = 0,15 \cdot 250 = 37,5 N,$$

для тока 400А

$$F_k^{(1)} = 0,15 \cdot 400 = 60 N,$$

Контактная сила, при общей (охватывающей n пластины) пружине -  $F_k^n = n F_k^1$

Результаты вычисления для  $n = 4, 6, 8, 10$  и  $12$  пластин представлены в таблице 1.

Таблица 1

Номинальный ток, А	Контактная сила, N, при число пластин в розетке					
	2	4	6	8	10	12
250	75	150	225	300	375	450
400	120	240	360	480	600	720

- 1.2. По критерию для тепловых процессов при установленном режиме с номинальным током, контактная сила для 1 пластины из твердой меди вычисляется [2]:

$$F_k = \frac{1,2 \cdot I_n^2 \cdot A \cdot \lambda \cdot \sigma_{cm}}{16 \cdot \lambda^2 \left[ \arccos \frac{T_0}{T_k} \right]^2} = \frac{1,2 \cdot I_n^2 \cdot 224 \cdot 10^{-8} \cdot \pi \cdot 510 \cdot 10^6}{16 \cdot 100^2 \left( \arccos \frac{303}{313} \right)^2}, N \quad (2)$$

где

$I_n$  - номинальный ток, А

$A$  - константа =  $224 \cdot 10^{-8}$  [1]

$\sigma_{cm}$  - напряжение раздавливания, N/m<sup>2</sup>

$\lambda$  - специфическая теплопроводности, W/m<sup>°K</sup>.

$T_0$  - температура в точке, в которой не чувствуется

влияние конт.соединения, °K

$T_k$  - температура в месте контакта, °K

Результаты вычислений для токов  $I_n = 250$  А и  $400$  А и розеток с 4, 6, 8, 10 и 12 пластин представлены в таблице 2.

Таблица 2

Номинальный ток, А	Контактная сила, Н для твердой меди, при число пластин в розетке				
	4	6	8	10	12
250	34,4	51,06	68,6	86,0	102,12
400	88	132	176,0	220,0	264,0

Эта проверка показывает, что в данном случае критерий для необходимого контактного давления по отношению номинального тока необходим, но не достаточен. Требования для контактного давления, гарантирующего малого контактного сопротивления оказывается в 3-4 раза больше критерия для допустимого нагревания контактной системы при протекании номинального тока.

## 2. Определение минимального диаметра подвижного контакта

Минимальный диаметр подвижного контакта проверяется по нагреванию из номинального тока.

Диаметр пальца определяется по [2]

$$d = 3 \sqrt{\frac{4 \cdot I_n \cdot \rho \cdot (1 + \alpha \cdot \theta) \cdot k_{\theta}}{\pi^2 \cdot k \cdot (\theta - \theta_0)}} \quad (3)$$

где

$I_n$  - номинальный ток, А

$\theta_0$  - температура окружающей среды, °K

$\theta$  - температура контактного соединения, °K

$\rho$  - специфическое сопротивление

$\alpha$  - температурный коэффициент специфического сопротивления

$k$  - коэффициент на теплоотдачи

$k_{\theta}$  - коэффициент добавочных потерь при переменном токе.

Определение коэффициентов [3 и 4]

- Коэффициент теплоотдачи

$$k = 10 \cdot k_1 \cdot (1 + k_2 \cdot 10^{-2} \cdot \theta) = 10 \cdot 1,95 \cdot (1 + 1 \cdot 10^{-2} \cdot 60) = 29,6 \quad (4)$$

$k_1$  и  $k_2$  – зависят от диаметра пальца [4]

- Коэффициент добавочных потерь  $k_{\theta}$ , отчитывает поверхностного эффекта  $k_n$  и близость  $k_{\theta}$ :

$$k_{\theta} = k_n \cdot k_{\theta}$$

Коэффициент близости  $k_{\theta} = 1$ , и  $k_{\theta}$  вычисляется в зависимости от частота переменного тока и сопротивления

$$\sqrt{\frac{f}{R_{100}}} = \sqrt{\frac{50}{3.3125}} = 2,13, \text{ которому соответствует } k_n = 1$$

Так:

$$k_{\theta} = k_n = 1$$

Минимальные диаметры подвижных контактов (пальцев) следующие:

Для тока 250А

$$d = 3 \sqrt{\frac{4 \cdot 250^2 \cdot 7,2 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 330) \cdot 1}{\pi^2 \cdot 29,6 \cdot 30}} = 14,52 \text{ mm} \quad (5)$$

$$\text{Для тока 400А } d = 19,86 \text{ mm} \quad (6)$$

## 3. Ток сваривания контактов

Ток сваривания контактов является критерием для состояния контактной системы при коротких замыканиях.

Вычислен по формуле Буткевича, предложенной в [3]

$$I_{зав} = 0,32 \cdot k \cdot \sqrt{F_k} \cdot 10^{-3}, kA \quad (7)$$

где  $F_k$  - контактная сила, N

Коэффициент  $k = 6000$  для конт. соединения Медь-Медь

$$k = 5500 \text{ для конт. соединения Медь-Латунь}$$

Вычисленные значения, которые лимитируют максимальные токи, которые могут возникнуть (напр. при к.з.) вычисляются при определенной контактной силе в т.1.1 и разном числе пластин (табл.3).

Таблица 3

Номинальный ток Ш.С., А	Ток сваривания в кА при число пластин (из меди)				
	4	6	8	10	12
250	23,51	28,80	33,25	37,18	40,73
400	29,74	36,43	42,06	47,03	51,52

Максимальные токи при трехфазных к.з., на клеммах трансформаторов использованные в шахтах следующие: 6/1кV и мощность до 1600кVA; - 14,72кА; для напряжения 6/0,69кV сухие с мощностью 1600кVA – 22,34кА, КТПВ 6/0,69 – 630кVA – 15,08кА, для трансформаторов 6/0,4кV с мощностью 1600кVA – 38,53кА.

Следовательно, минимальное необходимое число пластин в розетковом контакте должно быть 12, так как токи сваривания больше возможных максимальных значений токов при коротких замыканиях.

#### 4. Вычисление термической устойчивости в режиме короткого замыкания

Максимальный ток термической устойчивости при коротких замыканиях определяется по 1s тока, респективно плотности ( $j^2.t$ ), отчитывая допустимую максимальную температуру контактного соединения и токоведущих частей: для меди и латуни – 300°C [5].

Используя номограмму в [2] при  $\theta = 300^\circ C$ , определяются максимально допустимые плотности тока.

$$\text{Для латуни} \rightarrow j^2.t = 0,8 \cdot 10^{16} \frac{A^2 s}{m^4} \quad (8)$$

$$\text{Для меди} \rightarrow j^2.t = 3,7 \cdot 10^{16} \frac{A^2 s}{m^4}$$

Откуда можно вычислить токи для штепсельного соединения 250 и 400А с геом.размерами сообразные с вычисленными т.2, при чем приняты

Для 250А            d=16mm L=40mm  
 Для 400А            d=20mm L=50mm

Использована формула

$$I_t^{(1)} = \sqrt{(j^2.t)(\pi dL)^2} \quad (9)$$

а результаты вычислений представлены в табл.4

Таблица 4

Ток Ш.С, А	Ток термической устойчивости для 1s при т.к.з в кА в зависимости от материала контактной системы	
	Латунь	Медь
250	179,4	386,5
400	280,3	603,9

Сделанные вычисления лимитировали конструктивные размеры контактного соединения.

#### Конструкция

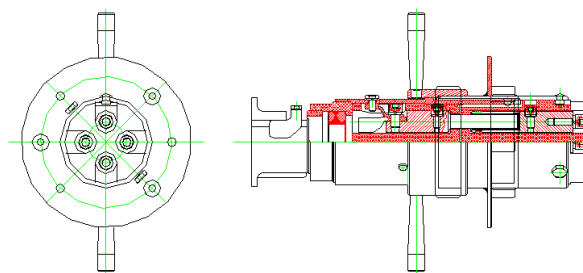
Конструкция штепсельного соединения СМ 250 показана на сборном чертеже на фиг.1.

В одном конце (правая часть чертежа) находится стационарная, неподвижная часть, которая фланцем фиксируется к стенке машины (оболочки). В этой части находятся гнезда – 4шт. К вынимаемой части (в лево), кабельным входом присоединяется кабель. Конструкция позволяет присоединение гибкого кабеля 3x70+35. Штифты (пальцы), которые входят в гнезда – 4шт., при чем 1 из них, заземлительный, с большей длиной. Так заземление при включении осуществляется опережающее (по отношению трех фаз), а прекращается после отделения фаз.

Что бы облегчить усилия при включении и выключении предусмотрена стальная рукоятка.

Кабель защищен от вырывания скобой, которая прижимает его к стене кабельного входа.

Максимальные размеры СМ 250 - 390X302mm, а его вес .....кг.



Фиг.1

На фиг. 2 показан штепсельный соединитель к оболочке автоматического выключателя, с степенью защиты IP54.



Фиг.2

#### Испытания

Сделанный опытный образец был подвергнут полным типовым испытаниям в лаборатории по Электрическим аппаратам в Горно-геологическом университете "Св.Иван"

Рилски”, г.София, согласно требованиям БДС 6142-81 и БДС 11623-83.

Результаты измерений падения напряжения в штепсельном соединителе в холодном состоянии (24оС) и в теплом состоянии (40оС) при номинальном токе 250А показаны в таблице 5.

Таблица 5

Состояние	Фаза, U		Фаза, V		Фаза, W		PE	
	I, A	U, mV	I, A	U, mV	I, A	U, mV	I, A	U, mV
Холодное состояние $t_k = 24^{\circ}C$	250	19	250	19	250	19	250	18
Теплое состояние $t_k = 40^{\circ}C$	250	20	250	20	250	20	250	19

Измерения в холодном состоянии сделаны после темперирования соединителя в течении 24 часов. Измерения в теплом состоянии сделаны при достижении установленной температуры (40°С) в течении 6 часов, под действием номинального тока – 250А / фаза. При таком же токе измерено и штепсельное соединение для цепи предохранительного (PE) провода.

Измерения показали полную симетрию в падениях напряжения трех фаз, и несколько меньших значений в PE – соединении (с 5,3%), что является результатом его большей контактной площади (подвижный контакт более длинный).

По данным из измерений вычислено и контактное сопротивление в холодном и теплом состоянии четырех соединений (табл.6).

Препоръчана за публикуване от  
Редакционен съвет

Таблица 6

	Контактное сопротивление, $\mu\Omega$			
	Фаза, U	Фаза, V	Фаза, W	PE
Холодное состояние $t_k = 24^{\circ}C$	76	76	76	72
Теплое состояние $t_k = 40^{\circ}C$	80	80	80	76

### Эксплуатационные качества

Разработанные и введенные в производство штепсельные соединители СМ250 показали очень хорошие эксплуатационные качества. В Челопеч Майнинг ЕАД эксплуатируются успешно десятки соединители СМ250, некоторые из них более 5 лет, вполне беспроблемно.

### Литература

Пенчев Ив. Електрически апарати, Техника С, 1982г.;  
 Драгомиров Т., Ив. Янчев. Електрически апарати за високо напрежение, ИК “ICON” С, 1994г.;  
 Буль Б.К, Буткевич Г.В и др. Основы теории электрических аппаратов. М, 1970г.;  
 Буткевич Г.В, В.Г. Дегтярь, а.Г. Сливинская. Задачник по электрическим аппаратам. “Высшая школа” М., 1987г.;  
 IЕС309-1;  
 БДС 11623-83;  
 Технически архив СМС-С ЩС.ХХ.ХХ.ХХ. 1999 – 2005г.