

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ КІЛ ОПАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ЧС4 ТА ЧС8

Визначено струми плавлення силових контактів для контакторів 7SP1 та 1SVAD8 у колі опалення електровозів ЧС4 та ЧС8. Показано, що в експлуатації можливі випадки, коли струми КЗ значно перевищують струми плавлення. При цьому до спрацьовування захисту через контакти вказаних контакторів проходить струм КЗ протягом часу, який достатній для їх плавлення, внаслідок недостатнього струму термічної стійкості. Розроблені рекомендації щодо значення струму термічної стійкості для апаратів у колах опалення.

Определены токи плавления силовых контактов для контакторов 7SP1 и 1SVAD8 в цепи отопления электровозов ЧС4 и ЧС8. Показано, что в эксплуатации возможны случаи, когда токи КЗ значительно превышают токи плавления. При этом до срабатывания защиты через контакты указанных контакторов проходит ток КЗ на протяжении времени, достаточного для их плавления, вследствие недостаточного тока термической устойчивости. Разработаны рекомендации для значения тока термической устойчивости аппаратов в цепях отопления.

## ВСТУП

Досвід свідчить, що при виникненні короткого замикання (КЗ) у колі опалення пасажирських вагонів, яке живиться від спеціальної обмотки (обмотки опалення) тягового трансформатора електровозів ЧС4 та ЧС8, незважаючи на те, що захист спрацьовує в установленому порядку, виникають суттєві пошкодження електрообладнання, а в окремих випадках виникає пожежа у камерах, де розміщені контактори 7SP1 (електровоз ЧС4) та 1SVAD8 (електровоз ЧС8), які оперативному комутують струм у вказаному колі. Основною причиною пошкоджень електрообладнання є плавлення силових контактів вказаних контакторів при КЗ у колі опалення. Тому виникає необхідність дослідити причини, що викликають плавлення цих контактів.

## ОСНОВНІ СПІВВІДНОШЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

Розглянемо умови роботи контактів контактора 1SVAD8, які є поверхневими та мають срібні накладки [1]. В залежності від матеріалу контактів можна визначити найбільший струм  $I_D$ , який не викликає їх пластичної деформації [2]:

$$I_D \approx 0,56 \frac{\Delta U_P}{r_{K_{НОМ}}}, \quad (1)$$

де  $\Delta U_P$  – спад напруги у контакті який відповідає розмір'якшенню матеріалу. Для срібла:  $\Delta U_{Pc} = 0,09$  В [2].

Перехідний опір при номінальному режимі  $r_{K_{НОМ}}$  згідно [3]:

$$r_{K_{НОМ}} = \frac{\rho_T}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot \sigma_{3M}}{F_K \cdot c}}; \quad (2)$$

де  $\rho_T$  – питомий електричний опір матеріалів контактів при номінальному режимі, Ом·см;  $\sigma_{3M}$  – питомий опір матеріалів контактів зминанню;  $c$  – кількість контактних точок;  $F_K$  – сила натиснення у контактах, Н ( $F_K = 90$  Н [1]).

Питомий електричний опір матеріалів контактів при номінальному режимі (коли допустиме перевищення температури контактів при температурі навколишнього повітря  $40^\circ$  С згідно ДСТУ 2773-94 не перевищує  $80^\circ$  С) дорівнює:

$$\rho_T = \rho_0(1 + \alpha_{OP}T),$$

де  $\rho_0$  – питомий опір при  $0^\circ$  С, Ом·см;  $\alpha_{OP}$  – температурний коефіцієнт матеріалу,  $1 / \text{град} \cdot 10^3$ ;  $T = 40^\circ\text{C} + 80^\circ\text{C} = 120^\circ\text{C}$  – температура контактів.

Згідно [3]:  $\rho_{0.c} = 1,5$  мкОм·см =  $1,5 \cdot 10^{-6}$  Ом·см;

$$\alpha_{OP} = 4 \frac{1}{\text{град} \cdot 10^3}; \quad \rho_T = 1,5 \cdot 10^{-6}(1 + 0,48) = 2,22 \text{ Ом} \cdot \text{см};$$

для поверхневих контактів  $c = 3$ ;  $\sigma_{3M.C} = 303 \cdot 10^2$  Н·см<sup>2</sup>.

$$r_{K_{НОМ}} = \frac{2,22 \cdot 10^{-6}}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot 303 \cdot 10^2}{90 \cdot 3}} = 20,8 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

$$I_D \approx 0,56 \frac{0,09}{20,8 \cdot 10^{-6}} = 2423 \text{ А}.$$

Номінальний струм контактора 1SVAD8 дорівнює  $I_{K_{НОМ}} = 550$  А [1].

Коефіцієнт експлуатаційного запасу комутуючих контактів

$$K_{3ек} = \frac{I_D}{I_{K_{НОМ}}} = \frac{2423}{550} = 4,4.$$

$K_{3ек} = 4,4 > K_3 = 3$ , що рекомендується для тягових електроапаратів [2]. Можна зробити висновок, що номінальний струм в обмотці опалення  $I_{3НОМ} = 491,8$  А  $< I_D = 2423$  А не викличе ніяких пластичних деформацій головних контактів контактора 1 SVAD8.

Струм плавлення [3]:

$$I_{ПЛ} = 0,58 \cdot \frac{\Delta U_{ПЛ}}{r_{K_{НОМПЛ}}}; \quad (3)$$

де  $\Delta U_{ПЛ}$  – спад напруги, який відповідає плавленню матеріалу;  $r_{K_{НОМПЛ}}$  – перехідний опір контактів на початку плавлення, Ом. Для срібла:  $\Delta U_{ПЛ.c} = 0,37$  [1]. Температура плавлення для срібла  $T_{ПЛ} = 960^\circ\text{C}$  [3].

На початку плавлення:

$$\rho_{T_{ПЛ}} = 1,5 \cdot 10^{-6} \left( 1 + \frac{4 \cdot 960}{1000} \right) = 7,26 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см};$$

$$r_{K_{НОМПЛ}} = \frac{7,26 \cdot 10^{-6}}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot 303 \cdot 10^2}{90 \cdot 3}} = 68,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

$$I_{ПЛ} = \frac{0,58 \cdot 0,37}{68,1 \cdot 10^{-6}} = 3151 \text{ А}.$$

Значення амплітуд  $I_{3m}$  струму КЗ у колі опалення в момент часу, коли  $\alpha_0 - \varphi_K \approx \pi/2$  дорівнюють [4]:

$$I_{3m} = 3981,9 \text{ А (при } U_1 = 19 \text{ кВ);}$$

$$I_{3m} = 5239,8 \text{ А (при } U_1 = 25 \text{ кВ);}$$

$$I_{3m} = 6078,7 \text{ А (при } U_1 = 29 \text{ кВ),}$$

де  $U_1$  – мінімальна, номінальна та максимальна напруги на первинній обмотці тягового трансформатора (напруга контактної мережі);  $\alpha_0$  – фазовий кут  $U_1$  у перший момент КЗ;  $\varphi_K$  – кут відставання струму КЗ від  $U_1$ .

Видно, що при всіх значеннях  $U_1$  відповідне  $I_{3m}$  більше струму  $I_{ПЛ}$  = 3151 А. Тобто значна ймовірність плавлення, а потім і зварювання контактів. Якщо КЗ відбулось в момент часу, коли  $\alpha_0 - \varphi_K \approx 0$ :

$$I_{3m} = 3432,5 \text{ А (при } U_1 = 29 \text{ кВ);}$$

$$I_{3m} = 2959 \text{ А (при } U_1 = 25 \text{ кВ);}$$

$$I_{3m} = 2249 \text{ А (при } U_1 = 19 \text{ кВ).}$$

Тобто при  $U_1 = 29$  кВ  $I_{3m} = 3432,5 \text{ А} > I_{ПЛ} = 3151 \text{ А}$ , що може привести до плавлення контактів.

Таким чином, факт плавлення контактів контактора у колі опалення в значній мірі визначається значенням кута ( $\alpha_0 - \varphi_K$ ) у першу мить КЗ ( $t = 0$ ).

При роботі тягових апаратів пластичні деформації контактів та їх зварювання можливі й у випадку струмів, менших  $I_{ПЛ}$ . Крім струмових навантажень, на апарати можуть діяти і інші збурення або їх комбінації. Наприклад, під впливом динамічних збурень може імпульсно змінюватися і особливо зменшуватися натиснення контактів, що викличе збільшення контактного опору і спаду напруги у контактному з'єднанні. Хоча ці й інші подібні збурення і короточасні, але вони можуть бути достатніми для появи деформацій контактних поверхонь.

За аналогічною методикою визначимо струми  $I_D$  та  $I_{ПЛ}$  для контактів контактора 7SP1. Найбільший струм  $I_D$ , який не викликає пластичної деформації контактів:

$$I_D \approx 0,56 \frac{\Delta U_{PM}}{r_{K_{НОМ}}},$$

де  $\Delta U_{PM} = 0,12 \text{ В}$  – спад напруги у контактні мідь-мідь [2].

Відмітимо, що у контактора 7SP1 контакти лінійні із міді (кадмієвої):

$\rho_{0,м} = 2,15 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ;  $\sigma_{3Мм} = 505 \cdot 10^2 \text{ Н/см}^2$ ;  $c = 2$  (для лінійного контакту) [3];

$$\alpha_{ОП.М} = 2,6 \frac{1}{\text{град} \cdot 10^3};$$

$$\rho_T = 2,15 \cdot 10^{-6} \left( 1 + \frac{2,6 \cdot 120}{1000} \right) = 2,82 \text{ Ом}\cdot\text{см};$$

$$F_K = 90 \text{ Н [5];}$$

$$r_{K_{НОМ}} = \frac{2,82 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot 505 \cdot 10^2}{90 \cdot 2}} = 41,85 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

$$I_D \approx 0,56 \cdot \frac{0,12}{41,85 \cdot 10^{-6}} = 1605 \text{ А.}$$

Номінальний струм контактора 7SP1  $I_{НОМ} = 400 \text{ А}$  [5]. Коефіцієнт експлуатаційного запасу комутуючих контактів:

$$K_{3ек} = \frac{I_D}{I_{3НОМ}} = \frac{1605}{400} = 4.$$

$K_{3ек} = 4 > K_3 = 3$ , що рекомендується для тягових електроапаратів.

Можна зробити висновок, що номінальний струм  $I_{НОМ} = 400 \text{ А}$  не викличе ніяких пластичних деформацій головних контактів контактора 7SP1.

Температура плавлення для міді [3]  $T_{ПЛ} = 1083^\circ \text{ С}$ .

На початку плавлення:

$$\rho_{T_{ПЛ}} = 2,15 \cdot 10^{-6} \left( 1 + \frac{2,6 \cdot 1083}{1000} \right) = 8,19 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{см};$$

$$r_{K_{НОМПЛ}} = \frac{8,19 \cdot 10^{-6}}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot 505 \cdot 10^2}{90 \cdot 2}} = 121,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{ПЛ.М} = 0,43 \text{ В [2], } I_{ПЛ} = \frac{0,58 \cdot 0,43}{121,5 \cdot 10^{-6}} = 2053 \text{ А.}$$

Значення амплітуд струму КЗ в момент часу, коли ( $\alpha_0 - \varphi_K$ )  $\approx \pi/2$  дорівнюють [4]:

$$I_{3m} = 7076,8 \text{ А (при } U_1 = 19 \text{ кВ);}$$

$$I_{3m} = 9313,4 \text{ А (при } U_1 = 25 \text{ кВ);}$$

$$I_{3m} = 10801,7 \text{ А (при } U_1 = 29 \text{ кВ).}$$

Видно, що при всіх значеннях  $U_1$  відповідне  $I_{3m}$  більше струму  $I_{ПЛ} = 2053 \text{ А}$ , тобто існує значна ймовірність плавлення, а потім і зварювання контактів.

Якщо у момент КЗ буде ( $\alpha_0 - \varphi_K$ )  $\approx 0$ , то:

$$I_{3m} = 6388 \text{ А (при } U_1 = 29 \text{ кВ);}$$

$$I_{3m} = 5506,9 \text{ А (при } U_1 = 25 \text{ кВ);}$$

$$I_{3m} = 4185,2 \text{ А (при } U_1 = 19 \text{ кВ).}$$

При всіх значеннях  $U_1$  струм  $I_{3m}$  більший, ніж струм  $I_{ПЛ} = 2514 \text{ А}$ . Тобто, при КЗ в колі опалення при будь-якому значенні  $U_1$  контакти контактора 7SP1 будуть плавитися.

Враховуючи, що й на електровозі ЧС4, й на електровозі ЧС8 струми плавлення значні (дорівнюють декільком тисячам ампер) можна стверджувати, що за час  $t = 0,08 \text{ с}$  (доки головний вимикач знеструмить коло електровозу) процес плавлення пройде свою активну фазу, розплавлений метал, бризкаючи в усі боки, може викликати пожежу в камері, де змонтовані контактори 1 SVAD8 та 7 SP1.

Відмітимо, що в переліку технічних характеристик контакторів 1 SVAD8 та 7SP1 значення струму термічної стійкості та допустимий час його проходження через контакти (без їх деформації) не вказується, що є певним недоліком з точки зору визначення, чи будуть струми КЗ викликати залишкову деформацію контактів.

## ВИСНОВКИ

1. Найбільший струм  $I_D$ , який не викликає пластичної деформації матеріалів контактів контактора 1SVAD8 (електровоз ЧС8) дорівнює приблизно 2423А. Коефіцієнт експлуатаційного запасу комутуючих контактів цього контактора дорівнює  $(2423/550)=4,4$  (де 550 А – номінальний струм контактора 1SVAD8).

Для контактора 7SP1 (електровоз ЧС4)  $I_{дл}=1605A$ . Коефіцієнт експлуатаційного запасу комуючих контактів цього контактора дорівнює  $(1605/400) \approx 4$ , (де 400 А – номінальний струм контактора 7SP1).

Для тягових електроапаратів рекомендується коефіцієнт експлуатаційного запасу не менше трьох. Таким чином, ця рекомендація виконана як для контактора 1SVAD8, так і для контактора 7SP1.

2. Струм плавлення  $I_{пл} \approx 3151$  А для контактора 1SVAD8 та  $I_{пл} \approx 2053$  А для контактора 7SP1. Для обох типів контакторів значення струмів плавлення менші, ніж максимальні значення відповідних струмів КЗ. Тобто, при КЗ у колі опалення можливе плавлення, а потім і зварювання контактів контакторів 1SVAD8 та 7SP1.

Плавлення (зварювання) контактів може привести до пошкодження інших елементів і навіть до пожегу в камері, де встановлений контактор опалення.

3. У теперішній час з урахуванням уніфікації пристроїв у колах опалення електровозів ЧС4 та ЧС8 доцільно замість існуючих типів контакторів застосувати пристрої, які орієнтовно мають струм термічної стійкості (0,5 с) – не менше 15 кА і витримують без пошкоджень кризний струм КЗ 25 кА і більше.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Описание приборов «А» ЧС8.
2. Захарченко Д.Д. Тяговые электрические аппараты. – М.: Транспорт, 1991. – 247 с.
3. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высшая школа, 1969. – 444 с.
4. Дослідження та розробка заходів щодо підвищення надійності захисту кіл опалення пасажирських електровозів змінного струму. Звіт з НДР. № держреєстрації 0110U006290.2010р. – 44 с.
5. Коптелкин В.А. и др. Пассажирские электровозы ЧС4 и ЧС4<sup>Т</sup>. – М.: Транспорт, 1975. – 384 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Opisanie priborov «A» ChS8. 2. Zaharchenko D.D. Tyagovye `elektricheskie apparaty. - M.: Transport, 1991. - 247 s. 3. Taev I.S. `Elektricheskie apparaty upravleniya. - M.: Vysshaya shkola, 1969. - 444 s. 4. Doslidzhennya ta rozrobka zahodiv schodo pidvischennya nadijnosti zahistu kil opalennya pasazhirs'kih elektrovoziv zminnogo strumu. Zvit z NDR. № derzhreestracii 0110U006290.2010r. - 44 s. 5. Koptelkin V.A. i dr. Pasazhirs'kie `elektrovozy ChS4 i ChS4<sup>T</sup>. - M.: Transport, 1975. - 384 s.

Надійшла 28.04.2011

*Маренич Александра Олександрівна*  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна,  
науково-дослідна частина,  
49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2  
тел. (056) 776 90 59  
e-mail: marenich.alexandra@gmail.com

*Marenich A.A.*

#### **Improvement of heating circuit reliability in CHS 4 and CHS8 electric locomotives.**

Power contact fusing currents for 7SP1 and 1SVAD8 contactors used in heating circuits of electric locomotives have been determined. It has been shown that in operation there may be situations when short-circuit currents are significantly greater than fusing currents. In this condition, a short-circuit current goes through the contactors contacts before protection actuation over a period of time long enough for the contacts fusion resulted from insufficient thermal stability current. Recommendations for thermal stability current values in the heating circuits have been developed.

**Key words – heating circuits, electric locomotives, short-circuit, power contacts.**