

## ЕКСПЛУАТАЦІЙНА НАДІЙНІСТЬ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ ЕЛЕКТРОПНЕВМАТИЧНИХ КОНТАКТОРІВ ТА КОНТАКТОРІВ ЕКГ-8Ж ЕЛЕКТРОВОЗІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

В роботі розглянуті види відмов, які виникають у процесі експлуатації електропневматичних контакторів ПК-96-101. Наведено результати вимірювань контактної опору та температури нагрівання контактних з'єднань електровозів змінного струму. Розглянуто особливості електричної ерозії контактів з різних композиційних матеріалів після натурних випробувань.

В работе рассмотрены виды отказов, которые возникают в процессе эксплуатации электропневматических контакторов ПК-96-101. Приведены результаты измерений контактного сопротивления и температуры нагревания контактных соединений электровозов переменного тока. Рассмотрены особенности электрической эрозии контактов из разных композиционных материалов после натурных испытаний.

The types of refusals which arise up in the process of exploitation of electropneumatic contactors PC-96-101 are considered. Measuring of contact resistance and heating temperature of contact connections of alternating current electric locomotives are resulted. The features of electric erosion of contacts from different composition materials after the models tests are considered.

На електрорухомому складі залізничного транспорту України широко застосовують комутаційні апарати різних типів та призначення. Проблема надійності електричних апаратів є однією з найважливіших, вирішення якої дозволило б підвищити рівень безвідмовної роботи та безпеку руху. Забезпечення надійності охоплює етапи конструювання апаратів, виготовлення, практичного використання і передбачає закладення необхідного рівня якості матеріалів.

Особливо це стосується контакторів головного електричного контролера ЕКГ-8Ж та електропневматичних контакторів серії ПК-96-101 (рис. 1), які встановлені на електровозах змінного струму ВЛ80Т. На відміну від інших електропневматичних контакторів контактори ПК-96-101 мають дві пари силових контактів: головні і розривні (як і у контакторів з дугогашенням ЕКГ-8Ж). В якості матеріалів контактів використовують: для головних контактів – СОК-15 (КМК-А10-М) з напайкою розмірами 16×25×3 мм; для розривних контактів – МВ-70 з напайками розмірами 16×30×6 мм. Матеріали напайок виготовляють згідно з ГОСТ 3884-77, який «...розповсюджується на комутуючі контакт-деталі, що виготовлені методом твердофазного спікання, призначені для застосування в комутаційних апаратах для замикання і розмикання електричних кіл напругою до 1000 В», що не відповідає умовам експлуатації контакторів.

Контактор складається з вузлів рухомого та нерухомого контактів, пневматичного приводу 3, дугогасної камери 5 та блок-контактів 4 (див.

рис. 1). Всі вузли та деталі змонтовані на ізолюваному металічному стрижні 6. Вузол нерухомого контакту складається з кронштейну 7, дугогасної котушки 8 та головного 1 і розривного 2 контактів. Кронштейн рухомого контакту 9 шарнірно з'єднаний з важелем 10, який несе головний та розривний рухомі контакти. Важіль 10 через ізоляційну тягу 11 з'єднаний з пневмоприводом 3.

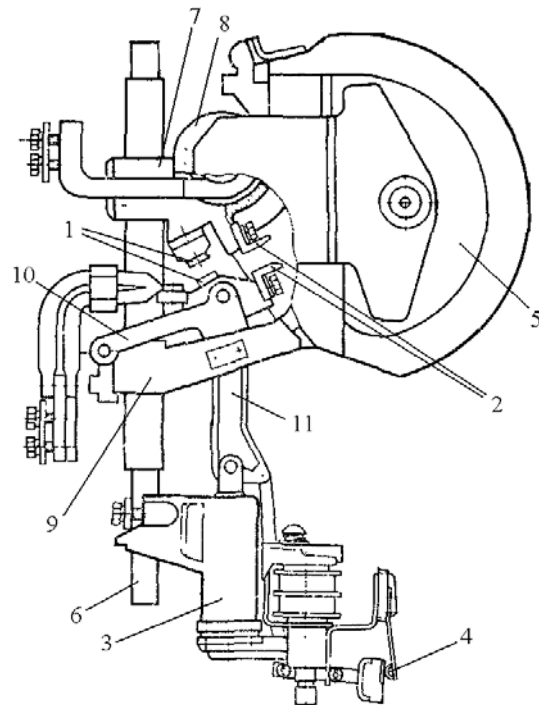


Рис. 1. Електропневматичний контактор ПК-96

Кінематична схема електропневматичного контактора аналогічна до контакторів з дугогашенням ЕКГ і влаштована таким чином, що при розмиканні першими розмикаються головні контакти, а при замиканні навпаки: першими замикаються розривні контакти, а за ними головні. Отже основною функцією головних контактів є пропускання струму, а розривні призначені для розриву електричної дуги.

Аналіз несправностей вузлів та агрегатів електровозів змінного струму по залізницях України показує, що найбільша кількість відмов, до 50 %, припадає на електрообладнання. При тому від 10 до 45 % приходится на незадовільний стан контактних з'єднань електроапаратури. На огляд і ремонт останньої витрачаються великі трудові та матеріальні ресурси.

Основна причина відмов – це неякісний ремонт, головним фактором здійснення якого, є відсутність запасних частин для силових контакторів, викликаний дефіцитом контактних елементів та матеріалів, зокрема, міді та срібла.

Розглядаючи причини виходу з ладу електропневматичних контакторів ПК-96-101 можна виділити чотири групи: вихід з ладу контакт-деталей – 47%; несправність важільної системи – 24%; несправності пневмоприводу – 24%; порушення в роботі дугогасної системи – 5% (рис. 2).



Рис. 2. Розподіл несправних вузлів ПК-96

Виходячи з вище зазначеного, найбільший вплив на безвідмовну роботу апарату здійснює стан контактного з'єднання, а надійна робота контакт-деталей (напайок) визначає термін експлуатації всього контактора. В свою чергу контакт-деталі бракують через зменшення товщини напайки в робочій зоні – 60%; через відпадання напайок – 10% та погіршення контактної поверхні (оплавлення – 8%; порушення профілю – 12%; утворення раковин – 10%) (рис. 3).

Враховуючи вищевикладене, актуальною постає задача вибору електропровідного мате-

ріалу, як альтернативи мідно-вольфрамовому та срібному сплаву, для його використання в якості напайок на силові контакти контакторів ЕКГ-8Ж та електропневматичних контакторів ПК-96-101 (як найбільш навантажених струмом) електровозів змінного струму.



Рис. 3. Причини бракування контактів

Для підбору контактного матеріалу, який більш надійно може працювати в заданих умовах, нами було обрано для порівняння шість типів матеріалів українських і російських виробників для розривних контактів та чотири типи матеріалу для головних контактів контакторів ЕКГ-8Ж та електропневматичних контакторів ПК-96-101 електровозів змінного струму.

Напайки на розривні контакти:

- матеріал КМК-Б25, виробництва ПП «Власов», м. Запоріжжя (з просочуванням № 5, без просочування № 6);
- композиційний матеріал (псевдосплав) МДК-3 (АТ «Геконт», м. Вінниця (№ 9));
- матеріал КМК-Б25, виробництва «Електроконтакт», м. Кінешма, Росія (№ 3);
- матеріал МВ-70, («Інтер-Контакт-Пріор», м. Київ (№ 4));
- композиційний матеріал Диском С16104, виробництва ТзОВ ІНТЦ «Диском», м. Чебоксари, Росія (№ 10).

Напайки на головні контакти:

- матеріал КМК-А10-М, виробництва ДП «Аргентум», м. Львів (№ 1);
- композиційний матеріал (псевдосплав) МДК, (АТ «Геконт», м. Вінниця (№ 8));
- матеріал КМК-А10-М, виробництва «Електроконтакт», м. Кінешма, Росія (№ 2);
- композиційний матеріал Диском С16104, (ТзОВ ІНТЦ «Диском», м. Чебоксари, (№ 11)).

Для зручності в порівнянні матеріали напайок пронумеровані. Структура та деякі властивості цих матеріалів наведено в [1].

Перед проведенням експлуатаційних випробувань необхідно визначити основні показники,

які характеризують контакт, а саме: контактний опір та температуру нагрівання контактного з'єднання. Якщо ці величини більше допустимих, то експлуатація контактних напайок з таких матеріалів недопустима, оскільки може викликати відмову контакторного елемента в цілому.

Якщо проаналізувати отримані залежності (рис. 4), то найбільше помітно, що перехідний опір головних контактів приблизно на порядок менший від опору розривних контактів. Основним чинником цього є те, що контактна площа головних контактів більша, особливо на початкових етапах експлуатації контактів. Питомий опір матеріалів, з яких виконані напайки на головні контакти, в декілька разів менше ніж матеріалів для розривних контактів [1], що також впливає на величину контактного опору. Аналогічне явище спостерігається і при вимірюванні контактного опору силових контактів електропневматичних контакторів (рис. 5). Нумерація кривих відповідає вище прийнятій.

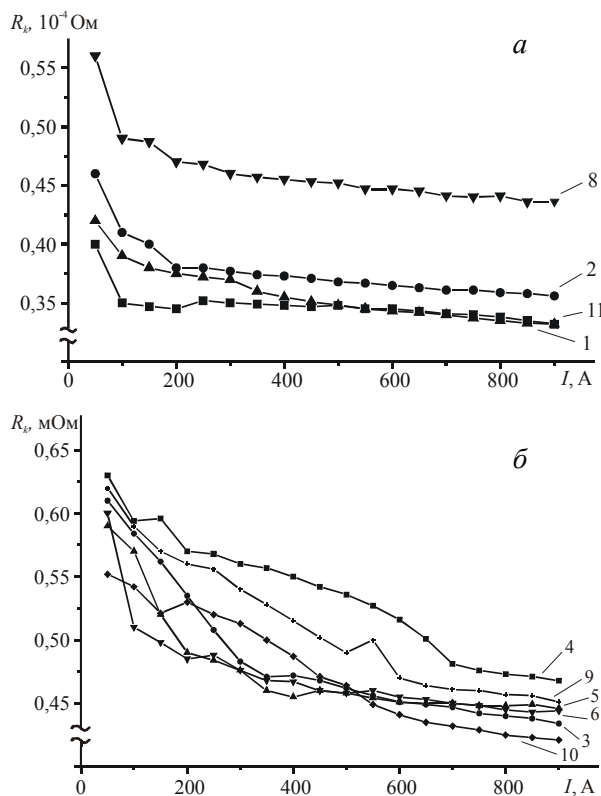


Рис. 4. Залежності контактної опору від струму через контакти контакторів з дугогашенням ЕКГ-8Ж: а – головні; б – розривні

Порівнявши величини контактних опорів електропневматичних контакторів та контакторів ЕКГ одразу помітно, що у ПК опори в 2...2,5 рази менші (особливо на головних контактах). Це пояснюється більшим контактним натиском ПК-96-101, який становить 15 кгс і більше, в

той час, як на головних контактах ЕКГ він дорівнює 13 кгс.

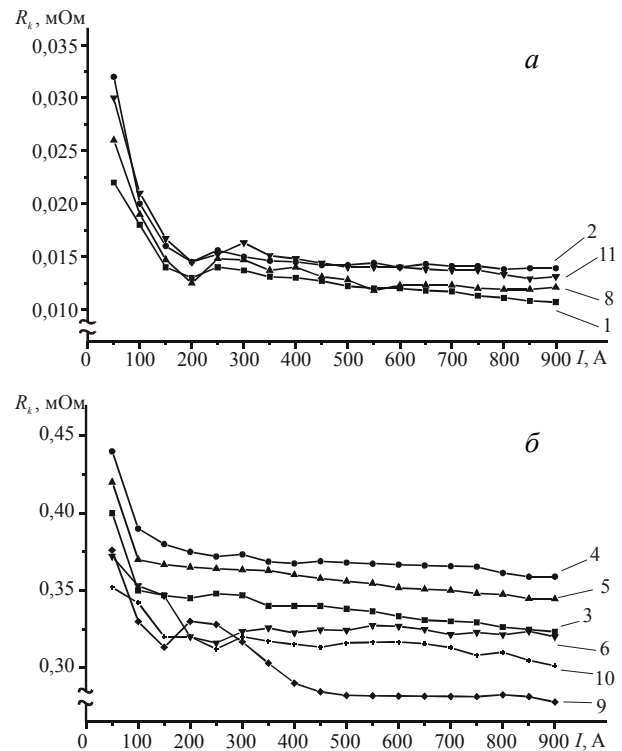


Рис. 5. Залежності контактної опору від струму через контакти електропневматичних контакторів ПК-96-101: а – головні; б – розривні

Одною з найважливіших характеристик матеріалу контактів є теплопровідність. Чим вища теплопровідність, тим більший струм зможуть пропускати контакти з даного матеріалу і відповідно контактне з'єднання буде володіти меншим контактним опором. Але з іншого боку матеріал має задовольняти умовам температурної стійкості. Значне перегрівання над температурою навколишнього середовища призводить до виходу з ладу контактора, тим більше, що температура в високовольтній камері в літній період може сягати 50...60 °С.

Нами було проведено вимірювання температури контактів при збільшенні струму через них (рис. 6). Температура вимірювалась в найбільш нагрітій точці контакту – точці дотику.

Перегрівання контактів над навколишнім середовищем задовольняє вимогам [2]. Таке незначне нагрівання контактів обумовлено відносно низьким перехідним опором контакту і інтенсивним тепловідводом (геометричні розміри контакту на порядок більші від розмірів напайки).

В процесі експлуатації контактів ЕКГ та ПК на електровозах змінного струму серії ВЛ80<sup>Т</sup> було виявлено, що в найбільш важких умовах працюють контактори ЕКГ. Якщо струмові навантаження у контакторів майже однакові, то з

точки зору кількості спрацьовувань виникає дуже велика різниця.

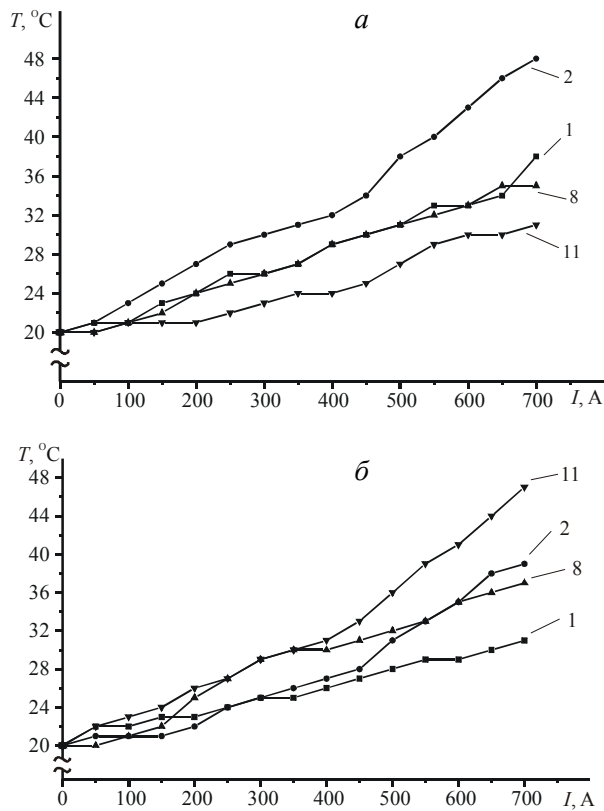


Рис. 6. Залежності температури в точці дотику головних контактів від струму через них: а – контакт ЕКГ; б – контакт ПК

Контактора з дугогашенням ЕКГ інтенсивно працюють впродовж руху електровоза. Найшвидше зношуються розривні контакти, оскільки

вони піддаються дії електричної дуги, яка викликає виникнення на робочій поверхні напайок тріщин, оплавлень, підгарів, раковин. Головні контакти зношуються менш інтенсивно, оскільки переважає механічний знос (близько 0,3...0,5 мм на 100 тис. км. і більше).

Для електропневматичних контакторів також переважає механічне зношування над електричним. Головні контакти зношуються приблизно на 0,1-0,2 мм на 50000 км. Розривні контакти дещо інтенсивніше, оскільки піддаються дії електричної дуги 0,2...0,5 мм на 50000 км. Таке повільне зношування напайок на контакти ПК викликано перш за все умовами експлуатації. Контактори вмикаються на нульовій позиції головного контролера і в подальшому залишаються увімкненими, якщо увімкнені моторнасос охолодження трансформатора, моторвентилятори, які охолоджують випрямні установки, роз'єднувачі вентилів 81-84, вимикачі двигунів ОД1-ОД4 і котушки ЕПК (при відсутності екстреного гальмування) [4].

Користуючись реалізаціями зносу, було одержано пробіги  $l$  контактів до параметричної відмови (тобто їх ресурси). Під останньою було прийнято повне зношення напайки контакту до товщини 3 мм, для всіх матеріалів за виключенням МДК (№ 9), для яких повне зношення приймалося до 5 мм, через те, що напайки з цього матеріалу поставлялись лише товщиною в 3 мм. Ці пробіги є випадковими величинами, результати статистичної обробки якої для кожного матеріалу наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри статистичних розподілень пробігів до параметричної відмови

Матеріал контактів	Математичне очікування, $\bar{l}$ , км	Середньоквадратичне відхилення, $\sigma_l$ , км	Асиметрія, $A_s$	Ексцес, $E_x$
СоюзІнвест (№ 3)	64951,69	16352,63	1,42	1,19
Інтер-Контакт-Пріор (№ 4)	62558,44	20418,54	0,12	0,76
Власов з прос. (№ 5)	71924,96	12494,56	-1,21	1,64
Власов без прос. (№ 6)	66569,77	18895,8	0,12	0,43
МДК (№ 9)	59634,73	10782,72	0,01	-1,39
Диском (№ 10)	27636,88	7417,88	-0,39	-1,29

Як відомо, електроерозійна стійкість контактів в основному визначається матеріалом контактів та параметрами електричної дуги. Стендові випробування базових контактів контакторів з дугогашенням контролера ЕКГ-8Ж

показали, що середній термін горіння дуги на контактах складає  $\sim 8$  мс. Середній термін гасіння дуги при вимиканні струмів 1500 А дорівнює 6,5...7 мс, а максимальний термін досягає 14 мс. Випробування на зносостійкість

при  $I=1500$  А, 30 вимиканнях у хвилину та швидкості розходження контактів 0,8–0,9 м/с свідчать, що після 2500 вимикань знос розривних контактів складає  $\sim 0,35$  мм. А повне зношення базових напайок цих контактів спостерігається після  $(5,8\dots 6,2)\cdot 10^3$  циклів «увімкнуто-вимкнуто» у контакторів без повітряного вдування і  $(2,2\dots 2,6)\cdot 10^3$  циклів у контакторів з повітряним вдуванням, що є недостатнім для існуючих умов експлуатації.

В Інституті проблем матеріалознавства імені І. Н. Францевича, НАН України було проведено порівняльні дослідження особливостей руйнування робочих шарів контактів, виготовлених з різних матеріалів: дисперсностійкого  $\text{Cu}-(\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Cr}_3\text{C}_2)$ , шаруватого парофазного конденсату  $\text{Cu}-\text{Mo}-\text{Zr}-\text{Y}$ , і традиційного електроконтактного композиційного матеріалу (КМ)  $\text{W}-\text{Ni}-\text{Cu}$ . Виявлено наявність різних по характеру зон механічного і ерозійного зносу робочих шарів і зміну їх розмірних співвідношень для вивчених матеріалів.

Відповідно до особливостей теплової дії в цих зонах реалізуються різні механізми електричної ерозії, що призводять до руйнування матеріалу контактів. Розширення області дії дугового розряду з формуванням розплаву пов'язане із збільшенням ролі електричної ерозії в рідкій фазі. Цей механізм приводить до утворення і витискування розплаву на периферію, внаслідок чого спостерігається «бахрома» за геометричними розмірами контактів з КМ виробництва «ДИСКОМ».

Формування розплаву в системі  $\text{Cu}-\text{Mo}-\text{O}$ , пониження його температури плавлення в результаті утворення  $\text{CuMoO}_4$  і евтектики зберігає цей розплав у області дії дугового розряду, з порами і раковинами у кратерів у робочому

шарі шаруватого контакту. Ослаблені порами і раковинами межі між напайками і контактотримачами, а також ослаблені сегрегаціями домішок межі між макрошарами в самій пластині парофазного конденсату, містять додаткові небезпечні перетини, що приводять до руйнування.

Контакти, виготовлені методами порошкової металургії з матеріалів в системі  $\text{Cu}-\text{Ni}-\text{W}$ , при комутації струму виявляють повільно протікаючі процеси ерозії в парогазовій фазі: випаровуються ділянки міді з прикордонних об'ємів, які піддаються окисленню, визначаючи морфологію і чорно-коричневий відтінок кольору поверхні робочого шару, так і активні процеси руйнування в твердій і рідкій фазах.

Порівняльне дослідження особливостей руйнування електричних контактів з нових матеріалів і традиційних електроконтактних КМ в системі  $\text{Cu}-\text{Ni}-\text{W}$  свідчить про перевагу останнього, його здатність чинити опір як механічним, так і тепловим навантаженням, характерним для експлуатації даних комутаційних апаратів.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баб'як М. О. Дослідження структури та деяких властивостей контактних матеріалів контакторів електровозів змінного струму / М. О. Баб'як, О. А. Тетерко, Р. В. Мінакова // Електротехніка і електромеханіка. – 2005. – С. 93–96.
2. Захарченко Д. Д. Тяговые электрические аппараты. – М.: Транспорт, 1991. – 247 с.
3. Электровоз ВЛ80<sup>Т</sup>. Руководство по эксплуатации. – М.: Транспорт. 1977. – 568 с.

Надійшла до редколегії 07.06.2007 р.