

## ВПЛИВ ДОМІШКІВ МЕТАЛІВ НА ЕРОЗІЙНИЙ ЗНОС КОМПОЗИЦІЙНИХ КОНТАКТІВ

*А. М. Мрачковський, кандидат технічних наук, доцент*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [talk.about.alps@gmail.com](mailto:talk.about.alps@gmail.com)*

**Анотація.** Розглянуті питання впливу режимів комутації, навколишнього середовища та контактного матеріалу на електроерозійну стійкість контакт-деталей комутаційних апаратів. Обґрунтовані можливості і заходи щодо підвищення надійності та ефективності застосування комутаційних апаратів в електроустановках сільського господарства за рахунок застосування ерозієстійких контактних матеріалів на основі дослідження фізико-механічних властивостей інгредієнтів композиційного контактного матеріалу при комутації струму; обґрунтований склад інгредієнтів в композиційному матеріалі для контакт-деталей комутаційних апаратів. Наводяться результати досліджень електроерозійної стійкості композиційного матеріалу в залежності від складу інгредієнтів та їх фізико-механічних властивостей. Теоретично встановлено і експериментально підтверджено, що електрична ерозія в основному визначається мікроструктурою матеріалу та зміною фізико-механічних властивостей інгредієнтів на робочій поверхні контакт-деталей при комутації струму. Встановлені фактори, що забезпечують підвищену дугостійкість за рахунок термодіагностичних властивостей складів композицій контактів, які керують фазовими перетвореннями при хімічних реакціях, процесами міграції, дифузії та обґрунтовано теорію механізму переміщення опорних точок дуги по робочій поверхні електричних контактів. Встановлена можливість застосування композиційних електричних контактів з термодіагностичними властивостями в комутаційних електричних апаратах при дуговій комутації струму.

**Ключові слова:** *електроерозійна стійкість, знос контактів, мікроструктура поверхні контакту, катод, анод, масоперенос*

**Актуальність.** Відмова електромагнітних реле та інших комутаційних апаратів у складі електрообладнання різних технологічних систем знижує ефективність виробництва продукції сільського господарства в середньому на 40 %.

Низький рівень технічного обслуговування та специфічні умови експлуатації електрообладнання приводять до масових відмов контакт-деталей на рівні 60 %, вартість яких складає 45-50 % вартості комутаційних апаратів у цілому.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Низька корозійна стійкість та висока вартість контакт-деталей при взаємодії з різними домішками навколишнього середовища знижують ефективність їх використання та призводять до економічних втрат.

Тому актуальним і перспективним завданням є розробка заходів з підвищення експлуатаційної надійності та ефективності використання електромагнітних реле за рахунок створення композиційних контактних матеріалів на основі міді та введення до матеріалу на основі срібла тугоплавких і оксидних домішок.

**Мета дослідження** – підвищення ефективності та експлуатаційної надійності комутаційних апаратів в електроустановках сільського господарства за рахунок створення нових композиційних контактних матеріалів на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень електротеплових та фізико-хімічних процесів на робочих поверхнях контакт-деталей.

**Матеріали та методи дослідження.** Металографічний аналіз мікроструктури, фазового складу зразків контактних матеріалів проводяться за допомогою металографічного мікроскопа МИМ-8. Дослідження морфології поверхонь контактування проводилися з використанням растрового електронного мікроскопа "Cambridge Stereoscan" S4-10 з приставкою для рентгеноспектрального аналізу Link System-290 і рентгенівським мікроаналізатором "CameBax SX-50". При випробуваннях на комутаційну зносостійкість фіксувалися такі параметри електричної дуги: струм, напруга та час горіння. Осцилограми струму та напруги були отримані при допомозі універсального двопроміневого запам'ятовуючого осцилографа С8-14.

Мікроструктурний аналіз матеріалів проводиться на металографічному мікроскопі МИМ-8 при збільшеннях в 100 і 200 разів. Мікроструктура визначається на відполірованому осьовому перерізі зразків шляхом огляду всієї поверхні шліфування. Огляд проводиться на шліфах з нетравленою поверхнею. Підготовка шліфів проводиться відповідно до ГОСТ 19725-74 на шліфувальному папері та сукняному обертаючому диску.

Зразки для дослідження виготовляються із суміші порошків досліджуваних композицій та підготовлених стандартних контактів. Із суміші порошків виготовляються зразки, що відповідають за складом стандартним контактним матеріалам, а також зразки з композицій на основі срібла й міді з домішками чистих металів.

Вихідними матеріалами для виготовлення суміші порошків є порошки срібла, міді, нікелю, оксиду кадмію, графіту, ніобію, карбїду титану.

Для проведення досліджень використовувалися контактні матеріали, якими відновлені контакт-деталі реле РПЛ-2204. Матеріали виготовлені на основі міді та срібла з домішками металів та інших термодинамічно стійких з'єднань:

- матеріал СрН-10 (90%Ag+10%Ni);
- матеріал 92,8%Ag+3,5%Zr+2%C+1%CaO+0,7%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
- матеріал 84%Cu+12%Mo+2%MoO<sub>3</sub>+1%C+1%Ni.

### **Результати досліджень та їх обговорення.**

*Залежність електричної ерозії від числа комутацій та сили струму.*

Зношуваність контактів комутаційних апаратів залежить від різних факторів, а саме: властивостей матеріалів контактів, числа спрацювань контактів, часу горіння дуги, а також від роду і величини комутованого струму.

Серед цих факторів основним є електрична дуга, яка руйнує поверхню контакту, тому за допомогою осцилографа ми записали параметри дуги на постійному струмі при розмиканні контактів.

На рис.1 показані результати досліджень контактів, виготовлених із срібла і нікелю. Основою контактів є срібло (90 %) з вмістом нікелю (10 %). При перемішуванні цих металів ми отримуємо композиційну суміш з новими властивостями:

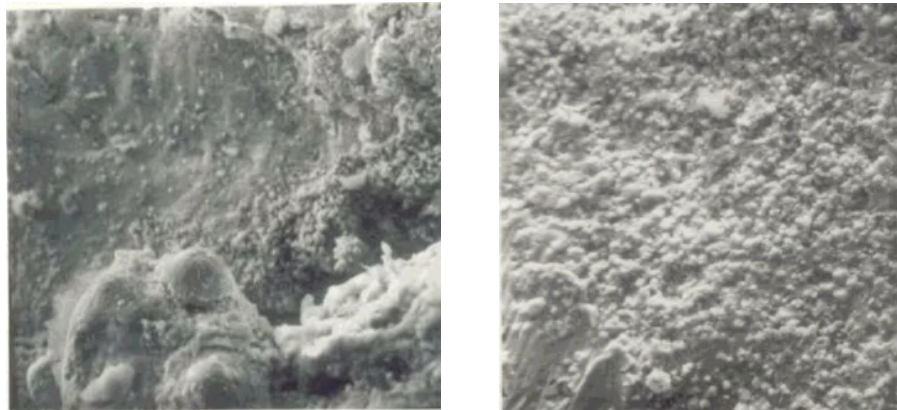
- підвищена зносостійкість за рахунок твердості і міцності нікелю,
- зменшення кількості мостиків між контактами,
- зменшення впливу домішок навколишнього середовища на корозію контактів.

При температурі 400 - 450 °С ця суміш в своєму складі отримує ще оксид нікелю, що сприяє зменшенню часу горіння дуги та додає їй нові властивості, які при великих навантаженнях руйнують контакти за рахунок розплавлення і зварювання металу.

Залежно від числа циклів комутації і величини струму відбувалося зменшення маси контактів і руйнації робочої поверхні контактів. При цьому відбувається масоперенос металу з катоду на анод під впливом дуги, яка виникає при розходженні контактів і впливі позитивних іонів на поверхню катоду.

У місцях поєднання металів срібла і нікеля створюються умови для виникнення і горіння дуги під дією термо і авто електронної емісії, і ця закономірність характерна для всіх композиційних матеріалів. Дуга, рухаючись поверхнею контактів, розсіює свою енергію і зменшує тепло, яке поглинається контактами.

Знаючи закономірності утворення дуги в місцях поєднання матеріалів контактів, ми можемо створювати композицію металів з високими електроерозійними властивостями.



**Рис.1. Поверхні контактів реле з матеріалу SrH-10:**

*a* – катоду, *б* – аноду при струмі 10А і  $5 \cdot 10^4$  циклів комутацій

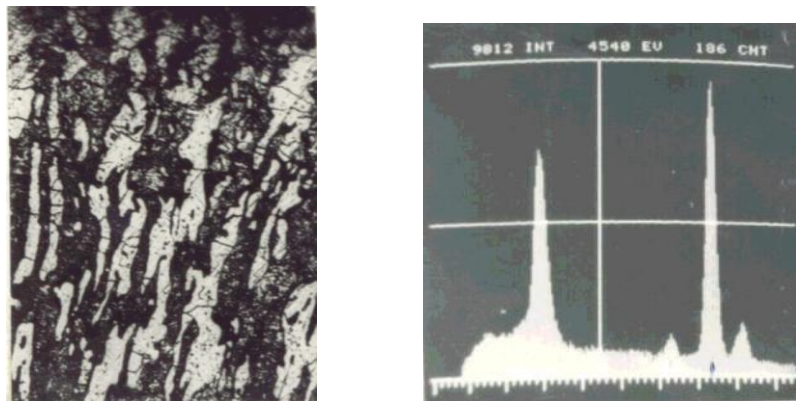
Провівши електронно-мікроскопічні дослідження поверхонь контактів, ми виявили зміну мікроструктури, яка утворилась під впливом струму і розподіл окремих складових композиційного матеріалу. При збільшенні струму комутації на катоді срібло плавиться і випаровується, а на поверхні контактів утворюються кратери, виступи і впадини, які формуються нікелем (рис. 1, *a*). Під впливом дуги на аноді

плавляться обидві складові композиції, срібло і нікель, і поверхня аноду покривається перенесеним з катоду сріблом в рідкому або газоподібному стані (рис. 1, б).

Суміш срібла і нікелю утворюють рівномірну мікроструктуру поверхні контактів з неоднаковими фізико – хімічними властивостями (рис. 2, а), яка змінюється під тепловою дією електричної дуги. На поверхню виступають зерна нікелю, які надають матеріалу стійкість проти обгорання і знижують контактний опір. Ці структурні зміни відбуваються на глибині 0,08-0,1мм від поверхні контактів внаслідок різної температури випаровування (2210 °С і 2730 °С) металів срібла і нікелю.

При спектральному аналізі поверхні контактів ми виявили збільшення кількості вмісту нікелю від 10 % до 25 % на робочій поверхні і зменшення срібла, яке швидше випаровується під дією струму дуги (рис. 2, б).

Ці результати підтверджують, що виступи зерен нікелю на поверхні контактів у кількості 20-25 % утворюють місця контактування і сприяють зварюванню контактів.



**Рис. 2. Мікроструктура (а) та спектральний аналіз (б) робочої поверхні контактів реле з матеріалу СрН-10 при струмі 10А і  $5 \cdot 10^4$  циклів комутацій**

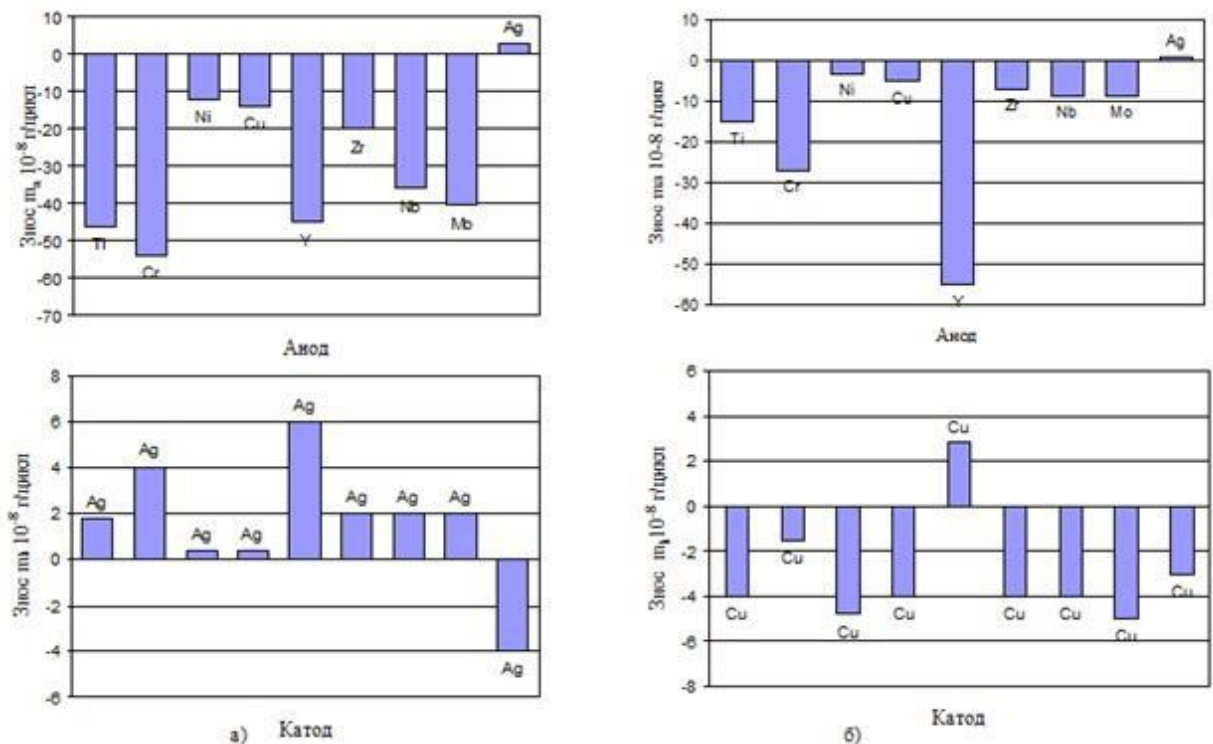
*Вплив фізико-механічних властивостей на електричну ерозію контактного матеріалу.*

Щоб визначити вплив фізико-механічних властивостей металів на величину електричної ерозії нами проведені досліді з металами, які утворюють композиції в

різних низьковольтних комутаційних апаратах. Дослідними металами були ітрій, мідь, молібден, ніобій, нікель, срібло, титан, цирконій, хром при комутації струму 10 А в парах з міддю і сріблом, а також в однорідних парах.

На рис. 3 представлені результати випробувань інтенсивності ерозії анодів із різних металів у різномірних парах з катодами із срібла та міді, які підтверджують однаковий характер, але різну інтенсивність ерозії анодів. Найвищу інтенсивність ерозії показує ітрій при збільшенні маси срібного аноду, що вказує на направлений масоперенос з катода на анод.

У різномірних парах маса катода зі срібла зростає, що свідчить про направлений перенос матеріалу з анода на катод, а в різномірних парах маса катода із міді зменшується разом з масою аноду, але інтенсивність ерозії аноду набагато більша за катод. Виключенням є тільки ітрій, де відбувається масоперенос з анода на катод.

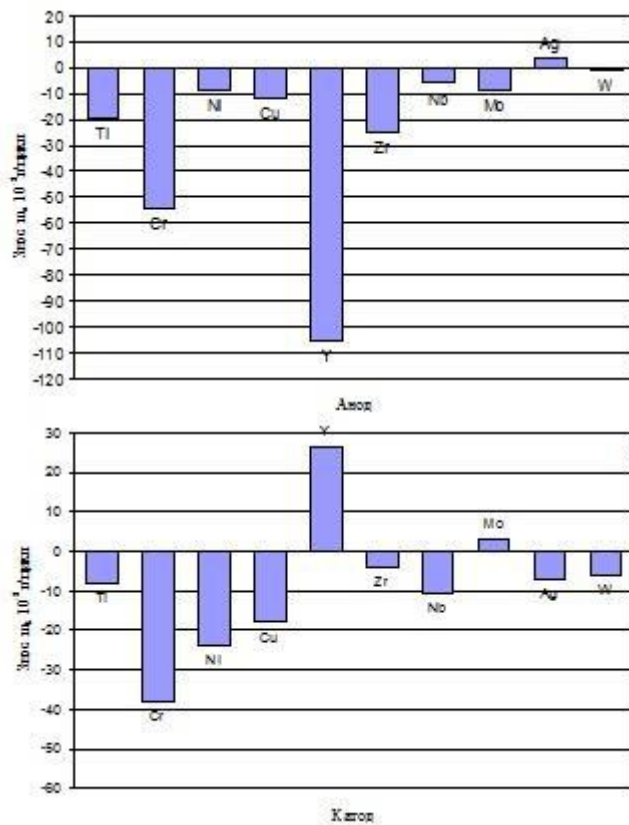


**Рис. 3 Інтенсивність ерозії анодів із металів при випробуванні їх з катодами із срібла (а) та міді (б) при струмі I=10А**

На рис. 4 представлені результати випробувань інтенсивності електричної ерозії аноду і катода, які виготовлені з одного і того ж металу. Із рис. 4 видно, що в

однорідних парах таких металів як Ti, Cr, Ni, Cu, Nb при комутації струму зменшується як анод, так і катод. Інтенсивність зношення аноду вища, ніж катоду. У таких металах як ітрій та срібло відбувається направлений перенос металу з катоду на анод.

На підставі досліджень робочих поверхонь контакт-деталей виявилось, що найвищою стійкістю до електричної ерозії на аноді володіють мідь, молібден, ніобій, нікель і срібло, а на катоді - молібден, ніобій, срібло, титан, цирконій. Разом з тим, є ряд металів (молібден, ніобій, срібло), які виявляють високу стійкість проти ерозії на катоді і аноді.



**Рис.4. Інтенсивність ерозії аноду і катоду, виготовлених із однорідних металів**

**Висновки і перспективи.** На підставі дослідження мікроструктури та стійкості композиційного матеріалу до електричної ерозії ми прийшли до таких висновків:

- що нині існують варіанти підвищення експлуатаційних властивостей за рахунок застосування технологічних методів порошкової металургії, яка передбачає оптимізацію складу композиційних матеріалів;
- встановлена нелінійна залежність зміни електричної ерозії від сили струму, характеру навантаження, числа комутацій, фізико-механічних властивостей матеріалу та його мікроструктури для матеріалів на основі срібла;
- мікроструктура є одним із факторів, що впливає на властивості електричного контакту. Вона перш за все залежить від технології виробництва, властивостей складових частин, також від конструктивних особливостей апарату, енергії електричної дуги, стану навколишнього середовища;
- спектральний аналіз робочої поверхні контактів вказує на значне збільшення кількості нікелю у верхньому шарі катоду і зменшенні срібла, що свідчить про його випаровування з поверхні в процесі комутації струму;
- у процесі комутації струму відбувається плавлення та інтенсивне випаровування легкоплавкої складової з робочої поверхні катоду, внаслідок чого формується дисперсна бугриста поверхня, тому можна рекомендувати на рухомий контакт більш ерозійностійкий матеріал.

#### **Список використаних джерел**

1. Братерская Г. Н. Металлокерамические контактные материалы на основе серебра для слаботочной техники: Дис.канд. техн. наук. К.: 1968. 202 с.
2. Буткевич Г. В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. М.: Энергия, 1973. 172 с.
3. Буткевич Г. В. К вопросу износа контактов электрических аппаратов под действием дуги. Доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1964-1965 г. Секция электромеханическая. Подсекция электроаппаратостроения. М.: МЭИ. 1965. С. 145 – 148.
4. Гопкинс М. Р., Джонс Р. Х. Переходные процессы, мостики, микродуги и перенос металла при коммутации низковольтных цепей электрическими контактами. Электротехн. пром. Сер. Аппараты низкого напряжения. 1974. Вып. 6 (37). С. 52 – 56.
5. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди: Справочник. М.: Наука, 1979. 247 с.
6. Клименко Б. В., Кохановський В. О. Огляд та перспективи розвитку матеріалів для контактів електромеханічних апаратів низької напруги. Електротехніка і електромеханіка. 2011. №4. С. 34 – 40.



7. Минакова Р. В., Грекова М. Л., Кресанова А. П., Крячко Л. А. Композиционные материалы для контактов и электродов (Обзор). Порошковая металлургия. 1995. № 7/8. С. 32 –53.
8. Омельченко В.Т. Теория процессов на контактах. Харьков: Вища школа. Изд-во при ХГУ, 1979. 128 с.
9. Пат. №37420 А Україна, С 22 С9/00, Н 01 Н 1/02. Спечений матеріал для електричних контактів. С.П.Коханівський, А.М.Мрачковський (Україна); НАУ. №98105202; Заявл. 02.10.98; Опубл. 15.05.01, Бюл. №4. 3 с.
10. Пат. №1792445 А3 СРСР, МКИ5 С 22 С9/00, Н 01 Н 1/02. Спечений матеріал для електричних контактів на основі міді. Г. М. Братерська, С. П. Коханівський, Т. О. Донцова, В. А. Наливайко, В. В. Коробський, А. М. Мрачковський (СРСР); УСГА. №5009871/02; Заявл. 03.07.91; Опубл. 30.01.93, Бюл. №4. 3 с.

### References

1. Braterskaya, G. N. (1968). Metallokeramicheskiye kontaknyye materialy na osnove serebra dlya slabotochnoy tekhniki [Metal-ceramic contact materials on the basis of silver for low-current equipment]: the dissertation of the candidate of technical sciences. Kyiv, 202.
2. Butkevich, G. V. (1973). Dugovyye protsessy pri kommutatsii elektricheskikh tsepey [Arc processes when switching electrical circuits]. Moskow: Energiia, 172.
3. Butkevich, G. V. (1965). K voprosu iznosa kontaktov elektricheskikh apparatov pod deystviyem dugi [On the issue of wear of contacts of electrical devices under the action of an arc]. Reports of the scientific and technical conference on the results of research work for 1964-1965. The section is electromechanical. Subsection of electrical equipment. Moskow: MEI, 145 – 148.
4. Hopkins, M. R., Jones R. H. (1974). Perekhodnyye protsessy, mostiki, mikrodogi i perenos metalla pri kommutatsii nizkovol'tnykh tsepey elektricheskimi kontaktami [Transients, bridges, microarcs and metal transfer during switching of low-voltage circuits by electrical contacts]. Electrical industry. Series Low voltage devices, 6 (37), 52 – 56.
5. Dvoynnye i mnogokomponentnyye sistemy na osnove medi: Spravochnik (1979) [Dual and multicomponent systems based on copper: Handbook]. Moskow: Nauka, 247.
6. Klymenko, B. V., Kokhanovskiy, V. O. (2011). Ohliad ta perspektyvy rozvytku materialiv dlia kontaktiv elektromekhanichnykh aparativ nyzkoi napruhy. [Review and prospects for the development of materials for contacts of low-voltage electromechanical devices]. Electrical Engineering and Electromechanics, 4, 34 – 40.
7. Minakova, R.V., Grekova, M. L., Kresanova, A. P, Kryachko L. A. (1995). Kompozitsionnyye materialy dlya kontaktov i elektrodov (Obzor) [Composite materials for contacts and electrodes (Review)]. Powder metallurgy, 7/8, 32 – 53.
8. Omelchenko, V. T. (1979). Teoriya protsessov na kontaktakh [Theory of processes on contacts]. Kharkiv: Higher school. Publishing house at KSU, 128.
9. Pat. №37420 А Ukraine, С 22 С9 / 00, Н 01 Н 1/02. Spechenyi material dlia elektrychnykh kontaktiv [Sintered material for electrical contacts]. S. P. Kokhanivsky, A. M. Mrachkovskiy (Ukraine); NAU. №98105202; Application 02.10.98; Publ. 15.05.01, Bull. №4. 3 p.

10. Pat. №1792445 A3 USSR, MKI5 C 22 C9 / 00, H 01 H 1/02. Spechenyi material dlia elektrychnykh kontaktiv na osnovi midi [Sintered material for electrical contacts based on copper]. G. M. Braterskaya, S. P. Kokhanovsky, T. O. Dontsova, V. A. Nalyvayko, V. V. Korobsky, A. M. Mrachkovskiy (USSR); USGA. №5009871 / 02; Application 03.07.91; Publ. 30.01.93, Bull. №4. 3 p.

## **ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ МЕТАЛЛОВ НА ЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНТАКТОВ**

*А. М. Мрачковский*

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы влияния контактного материала, режимов коммутации и окружающей среды с различными примесями на электроэрозионную устойчивость контакт-деталей коммутационных аппаратов. Обоснованы возможности и меры по повышению надежности и эффективности применения реле в электроустановках сельского хозяйства за счет применения эрозионных контактных материалов на основе исследования физико-механических свойств ингредиентов композиционного контактного материала при коммутации тока; обоснован состав ингредиентов в новом композиционном материале для контакт-деталей коммутационных аппаратов. Приводятся результаты исследований электроэрозионной устойчивости композиционного материала в зависимости от состава ингредиентов и их физико-механических свойств. Экспериментально установлено и теоретически подтверждено, что электрическая эрозия в основном определяется микроструктурой материала и изменением физико-механических свойств ингредиентов на рабочей поверхности контакт-деталей при коммутации тока. Получены факторы, обеспечивающие повышенную дугостойкость за счет термоэмиссионных свойств составов композиций контактов, управляющих процессами диффузии, миграции и фазовыми превращениями при химических реакциях, и обоснована теория механизма перемещения опорных точек дуги по рабочей поверхности электрических контактов. Доказана возможность применения композиции электрических контактов с особыми термоэмиссионными свойствами в коммутационных электрических аппаратах при дуговой коммутации тока.

**Ключевые слова:** электроэрозионная стойкость, износ контактов, микроструктура поверхности контакта, катод, анод, массоперенос

## **INFLUENCE OF METAL IMPURITIES ON EROSION AND WEARING OF COMPOSITE CONTACTS**

*A. Mrachkovskiy*

**Abstract.** The questions of influence of contact material, switching modes and environment with various impurity on electroerosion resistance of contact details of switching devices are considered. Substantiated possibilities and measures to increase the reliability and efficiency of relays in electrical installations through agriculture through the use of erosion-resistant contact materials based on the study of physical and mechanical properties of the components of the composite contact material in switching current; substantiated composition of ingredients in the new composite material for

*contact parts of switching devices. The results of researches of electro erosive stability of composite material depending on structure of ingredients and their physical and mechanical properties are resulted. It has been experimentally established and theoretically confirmed that electric erosion is mainly determined by the microstructure of the material and the change in the physical and mechanical properties of the ingredients on the working surface of the contact parts during current switching. Factors providing increased arc resistance due to thermoemission properties of contact compositions that control the processes of diffusion, migration and phase transformations in chemical reactions are obtained, and the theory of the mechanism of arc reference points movement on the working surface of electrical contacts is substantiated.*

**Key words:** *electro erosion resistance, contact wear, contacts surface microstructure, cathode, anode, mass transfer*