

УДК 621.3.064.035/620.268

**РОЗРОБКА КОНТАКТНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МІДІ ТА  
ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНОГО ОПОРУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ  
ПУСКАЧІВ**

*В. В. Коробський, кандидат технічних наук, доцент*

*А. В. Бурла, студент магістратури*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*e-mail: [kor.vladlen.2002@gmail.com](mailto:kor.vladlen.2002@gmail.com)*

**Анотація.** *Наведено особливості матеріалів для контактів електромагнітних пускачів, а також властивості та склад розроблених композитних екологічно безпечних матеріалів для контактних систем пускачів. Приводяться результати досліджень перехідного контактного опору пускача ПМЛ-1100 з серійним і дослідним матеріалом від кількості циклів комутації.*

*Метою роботи є створення екологічно безпечного контактного матеріалу для пускачів, що працюють в електроустановках сільського господарства, при невисокій вартості із заданим рівнем надійності щодо перехідного опору.*

*З метою скорочення часу і засобів випробування при дослідженнях застосовувався одноступінчатий контроль, при якому проходить одна вибірка (за результатами випробування якої приймають рішення про відповідність вимогам надійності).*

*Враховуючи службові функції електромагнітних пускачів, що використовуються в електроустановках сільського господарства із струмами 10 – 25 А, прототипом для створення дослідних контактних матеріалів візьмемо відомі спечені контактні матеріали на основі міді КМК-Б00 (99,95% Cu), КМК-Б10 (97% Cu+3% C) [7] і КМК-Б11 (95% Cu+5% C).*

*Перехідний опір серійних та дослідних контактних пар визначався методом вольтметра-амперметра при загальній кількості циклів комутації 300 тис. Обробка результатів дослідження здійснювалась методами математичної статистики з використанням пакету прикладних програм «Statistika» (версія 10.0).*

*Проведені дослідження показали, що питомий опір композитних контактних матеріалів на основі міді має значення, співставне з величиною питомого опору контактних матеріалів на основі срібла КМК-А10м, КМК-А40. Експериментальні залежності перехідного контактного опору від кількості циклів комутації апроксимуються поліномом першої степені.*

*Динаміка збільшення величини перехідного опору дослідних контактів нижча (в 2 – 3,5рази) і опір зростає повільніше, на відміну від серійних, для яких*

*зафіксовано зростання величини опору в 5 – 7 раз, при роботі пускачів в середовищі з хімічно активними домішками.*

**Ключові слова:** *контактний матеріал, електромагнітний пускач, перехідний опір, складові композиційного матеріалу, електропровідність*

**Актуальність.** Пускачі, які випускаються вітчизняною промисловістю, за своїми технічними параметрами, в основному, відповідають сучасному світовому рівню, але з урахуванням тенденцій і динаміки розвитку галузі електромагнітних пускачів за кордоном, можливе відставання по ряду параметрів від зразків іноземних фірм.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вимоги до електромагнітних пускачів сформульовані у вітчизняній та закордонній електротехнічній літературі і наведені, зокрема, в роботах Р. Хольма, В. В. Усова, В. Мерла, І. Б. Брона, І. Е. Декабрун, К. К. Намітокова та у міжнародному стандарті ІЕС 60947-4-1. Пускачі не призначені для вимикання струмів короткого замикання, але можуть їх вмикати та призводити до спрацювання апарату захисту. Основне призначення пускача – комутація з високою частотою електричних кіл, тому і основними є вимоги щодо значень механічної та електричної зносостійкості. Матеріал та склад контактів визначається категорією застосування, найпоширенішими з яких є категорії АС-3 та АС-4. Важкі умови експлуатації в сільському господарстві та численні фактори впливу утруднюють вибір контактного матеріалу для пускачів. До матеріалів контактів електромагнітних пускачів висуваються наступні вимоги [4]:

- висока механічна зносостійкість;
- висока електрична зносостійкість;
- висока стійкість до зварювання;
- висока електропровідність;
- висока теплопровідність;
- низький та стабільний перехідний опір;

- низька схильність до взаємодії з хімічно-активними домішками оточуючого середовища аграрного сектору (сірководнем, двоокисом вуглецю, аміаком, двоокисом сірки тощо);

- забезпечення надійного кріплення до контактотримача;

- низька вартість при заданому рівні надійності.

Практично неможливо підібрати універсальний матеріал, який би відповідав всім названим вимогам, тому залежно від функціонального призначення контактного вузла приходиться приймати компромісне рішення. Контакти пускачів, які працюють в області малих та середніх струмів, (і нечастого вмикання-відмикання струмів короткого замикання) повинні, перш за все, забезпечувати стабільність перехідного опору при впливі агресивних домішок атмосфери в поєднанні з високими дугостійкістю та стійкістю до зварювання.

**Мета дослідження** – створення екологічно безпечного контактного матеріалу для пускачів, що працюють в електроустановках сільського господарства, при досягненні невисокої вартість із заданим рівнем надійності щодо перехідного опору.

**Матеріали і методи дослідження.** Оскільки надійність пускачів з розробленими контактами передбачає збереження в часі параметрів, які характеризують властивість пускача виконувати свої функції у всіх передбачених режимах і в жорстких умовах експлуатації (умови середовища технологічних тваринницьких приміщень), то показники надійності контролюються при всіх випробуваннях: при контролюванні функціонування пускача і при випробуванні на вплив зовнішніх факторів (контрольних випробуваннях). З метою скорочення часу і засобів випробування, застосовується одноступінчатий контроль, при якому проходить випробування одна вибірка (за результатами випробування якої приймають рішення про відповідність вимогам надійності).

Враховуючи службові функції електромагнітних пускачів, що

використовуються в електроустановках сільського господарства із струмами 10...25А, прототипом для створення дослідних контактних матеріалів візьмемо відомі спечені контактні матеріали на основі міді КМК-Б00 (99,95% Cu), КМК-Б10 (97% Cu+3% C) [7] і КМК-Б11 (95% Cu+5% C) [3]. Недолік цих матеріалів – низька електроерозійна стійкість, нестабільність контактного опору при роботі. Варто згадати, як прототипи, ще матеріал (48-72%) Cu+(0,5-5%) Ag+Mo(W) [4]. Але до вищезгаданих недоліків додаються ще витрати дорогоцінного металу та завищений контактний опір.

Значення спадів напруги для серійних контактів та дослідних оброблялись з використанням методів математичної статистики з застосуванням програми «Statistika» (версія 10.0).

Опір контакту  $\Delta R$  (мОм) розраховується за формулою:

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{I}, \quad (1)$$

де  $\Delta U$  - спад напруги на контактному переході, що виміряний вольтметром В7-35, мВ;  $I$  - струм, що виміряний амперметром Э514, А.

Перехідний опір серійних та дослідних контактних пар визначався методом вольтметра-амперметра при загальній кількості циклів комутації 300 тис.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Для підвищення електроерозійної стійкості і збереження стабільного контактного опору до наведених вище матеріалів нами були введені домішки, які дозволили створити і запатентувати нові композиційні матеріали:

1) Cu+(10-15%)Mo+(2-3%)MoO<sub>3</sub>+(1-3%)C+(0,8-1,0%)Ni [6].

Обґрунтуємо введення складових компонентів для контактного матеріалу. Введення молібдену, який не взаємодіє з міддю ні в твердому, ні в рідкому стані, значно підвищує твердість, міцність та дугостійкість. Для стабілізації контактного опору були введені легуючі домішки триоксиду молібдену MoO<sub>3</sub> і графіту С. Одночасне введення Мо, МоО<sub>3</sub>, Ni, С надають матеріалу необхідні службові властивості, які необхідні для контактних матеріалів пускачів.

Механізм формування композиції із Мо та Сu визначається процесами, які проходять на поверхнях розподілу фаз, а саме, змочуванням та адгезією. Відсутність взаємодії між компонентами композиції Мо-Сu і неповне розтікання міді на поверхні молібдену утруднює отримання безпористих матеріалів. Для кращої взаємодії на межі розділу Сu-Мо в композицію вводиться нікель в межах (0,8-1,0) ваг.%. Молібден, як тугоплавка складова композиції, визначає механічну міцність матеріалу.

Легування нікелем помітно впливає на механізм руйнування контактів, що визначає їх електроерозійну стійкість. Із введенням в композицію нікелю зростає розчинність молібдену в рідкій фазі і змінюється структура робочої зони контакту. При розряді в повітрі температура каналу дуги досягає декількох десятків тисяч градусів, пари металів в об'ємі каналу розряду створюють досить великий тиск, в композиції збільшується кількість рідкої фази, яка розділяє шар молібдену, який спікся, від основної структури композиції. У процесі горіння дуги струм на поверхні контакту локалізується на відносно малих ділянках, які обмежені розмірами плям дуги на контактах. Внаслідок цього виникають термічні перенапруги, які викликають розтріскування шару молібдену. Чим вище модуль пружності і більша різниця коефіцієнтів теплового розширення, тим більша роль крихкого руйнування в ефекті ерозії. Нікель підвищує корозійну тривкість матеріалу.

При горінні електричної дуги графіт нагрівається до температури 3700 °С і вище, сублимує і переходить у відновлювальний газ СО, СО<sub>2</sub>, який з дугового каналу і простору навколо нього забирає кисень, що в кінцевому результаті запобігає окисленню робочої поверхні контактів і скорочує час горіння дуги. Внаслідок цього стабілізується контактний опір і зменшується ерозія за рахунок утворення карбідів молібдену МоС<sub>3</sub>. Крім цього, графіт знижує імовірність і силу зварювання контактів. Введення триоксиду молібдену МоО<sub>3</sub> збільшує швидкість переміщення дуги на поверхні і віддуває її з поверхні. Це відбувається

внаслідок сублімації триоксиду молібдену  $\text{MoO}_3$  при температурі  $650^\circ\text{C}$ , який значно збільшується в об'ємі в газовій формі. У такому вигляді молекули  $\text{MoO}_3$  при температурі  $900-1000^\circ\text{C}$  полімеризуються в більш складні сполуки, що забирає частину енергії дуги. Потенціал іонізації  $\text{MoO}_3$  значно вищий, ніж в атомів  $\text{Cu}$  і  $\text{Mo}$ , що деіонізує дугу і скорочує час її горіння. Все це призводить до зменшення окислення робочої поверхні контактів і збереження стабільного контактного опору. Експериментальна перевірка матеріалу дала такі результати по початковому значенню контактного опору  $R_k=4,0\dots4,1$  мОм, а коефіцієнт електричної ерозії складає  $k = -(8,1\dots10,1)\cdot 10^{-8}$  г/цикл, питомий електричний опір -  $\rho=0,04\dots0,043$  мкОм·м.

2.  $\text{Cu}+(5,0-10\%)\text{Cr}+(1,0-3,0\%)\text{TiB}_2+(2,0-3,0\%)\text{Nb}+(1,0-2,0\%)\text{C}+(0,5-0,7\%)\text{Zr}$  [5]. Домішка хрому дозволила дисперсно зміцнити матеріал за рахунок високої твердості  $\text{Cr}$ , яка перевищує твердість міді майже в три рази. Хром під дією дуги, яка виникає при комутації струму, легко окисляється до  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , що підвищує опір дуги. Внаслідок цього струм у дузі зменшується, час горіння дуги скорочується, що призводить до зменшення ерозії. Мідь менше окислюється за рахунок поглинання хромом кисню, що стабілізує контактний опір. Частинки ніобію на робочій поверхні контактів створюють великий градієнт температури на межі фаз  $\text{Nb}-\text{Cu}$ , тому що температура плавлення ніобію складає  $2470^\circ\text{C}$ , а міді –  $1083^\circ\text{C}$  (тобто градієнт температури складає  $1387^\circ\text{C}$ ). Внаслідок цього зерна міді на межі з ніобієм плавляться, випаровуються і розбризкуються, що призводить до підвищення стійкості проти зварювання, але і до нерівномірного і завищеного зносу. Це не дуже корисне явище вдається трохи усунути спільним введенням до міді дибориду титану  $\text{TiB}_2$  і графіту  $\text{C}$  та збільшенням відсоткового складу інших компонентів, що надає матеріалу нових властивостей. Диборид титану є розкислювачем, тому що мідь утворює структурні вільні оксиди, які виникають при термічних операціях. Він починає окислюватись при температурі  $1500^\circ\text{C}$ , забираючи кисень і знижуючи час горіння дуги. Під впливом дуги утворюється

борид цирконію, температура плавлення якого складає 3040 °С. Диборид титану  $TiB_2$  має твердість  $H_v=3400$  кгс/мм<sup>2</sup>, питомий опір  $\rho = 0,284$  мкОм·м, температуру плавлення – 2920 °С. Тому, додаючи його, ми зміцнюємо композицію, підвищуючи фізико-механічні властивості і електроерозійну стійкість. Графіт вступає у взаємодію зі складовими матеріалу (Cr, Zr, Nb) і утворює такі карбіди:  $Cr_3C_2$ , (твердість  $H_v=1330$  кгс/мм<sup>2</sup>),  $ZrC$  ( $H_v=2600$  кгс/мм<sup>2</sup>),  $NbC$  ( $H_v=2400$  кгс/мм<sup>2</sup>). Твердість карбідів значно перевищує твердість міді і простих сплавів, тому значно зростає твердість поверхневих робочих шарів контакту.

Основні складові композиційного матеріалу і деякі шари наробітку мають дуже різні температури плавлення: Cu – 1083 °С, Cr – 1900 °С, Zr – 1895 °С, Nb – 2470 °С,  $TiB_2$  – 2920 °С,  $ZrB$  – 3040 °С, а температура сублімації графіту – 3700 °С. Такий різний спектр температур призводить до зменшення на поверхні контактів температурного градієнту, що запобігає розтріскуванню металу та бурхливому випаровуванню і розбризкуванню. Наявність фазової неоднорідності на робочій поверхні контактів викликає появу горизонтальних потоків тепла в зоні, що прилягає до поверхні дотику контактів. Це призводить до зменшення енергії, яка потрапляє в контакт, тим самим зменшуючи глибину проплавлення та коефіцієнт інтенсивності електричної ерозії.

Композиційний матеріал має гетерогенну мікроструктуру. Невелика взаємна розчинність компонентів при дії електричної дуги зі зниженням температури  $(4,0 \dots 8,0) \cdot 10^3$  °С зменшується і відбувається виділення частинок Cu, Nb, Cr, Zr, Ti з їх взаємних розчинів, що суттєво подрібнює зерна і зміцнює матеріал. Подрібнення зерен сприяє зниженню температури рекристалізації, що підвищує температурну міцність і призводить до зниження електричної ерозії. Контактний опір і ерозійна стійкість становлять  $R_k=4,30 \dots 4,80$  мОм,  $k = \pm(6,05 \dots 8,25) \cdot 10^{-8}$  г/цикл, а питомий електричний опір -  $\rho = 0,035 \dots 0,038$  мкОм·м.

Оскільки спечені матеріали в більшості випадків є механічною сумішшю

компонентів, то їх загальна електропровідність повинна дорівнювати сумі електропровідностей компонентів. Але в дійсності значення питомого електричного опору матеріалу, в значній мірі, відрізняється від розрахункових значень. Це пов'язано з тим, що композитний матеріал у загальному випадку складається не тільки з чисто механічної суміші компонентів, але також із твердих розчинів, багатофазних систем і хімічних сполук. З іншої сторони, помітний вплив на електропровідність матеріалу завдають механічні параметри матеріалу (пористість, твердість, мікроструктура, розмір частин тощо), які головним чином, визначаються технологією виготовлення матеріалу.

Найбільший вплив на електропровідність матеріалу (в сторону зменшення) має графіт. Можна пояснити це тим, що питомий опір графіту на декілька порядків вище питомого опору міді (приблизно в 500...1000 разів) і, крім того, питома вага його в 6...8 разів менша.

Відносно незначний вплив на питомий опір здійснюють домішки ніобію, хрому, які мають приблизно однакову з міддю питому вагу, хоча і провідність приблизно на порядок нижчу. Дещо більший вплив на питомий електричний опір мають неметалічні домішки ( $Y_2O_3$ ,  $TiB_2$ ). Однак їх вміст в матеріалах, як правило, не перевищує 3 ваг.%, що не має визначального впливу на збільшення питомого опору.

У результаті заміни серійного контактного матеріалу на дослідний проводяться типові випробування. Тому з метою визначення технічних параметрів пускачів з дослідними контактами і об'єктивної оцінки технічного рівня роботи цих пускачів, проводяться випробування пускачів з дослідними контактними матеріалами на комутаційну зносостійкість в категорії застосування АС-3, на номінальну комутаційну здатність контактів головного кола в категорії застосування АС-3, дослідження контактного опору пускачів з серійними і дослідними контактами.



Комутаційні випробування на зносостійкість композитних матеріалів проводяться при кліматичних умовах, які імітують атмосферу тваринницьких приміщень, в режимі нормальних комутацій. Електрична схема дослідної установки дає можливість одночасно проводити випробування пускачів в кількості 8 шт. [1]. Необхідні вимірювання спаду напруги  $\Delta U$  проводяться через кожні 50 тис. при протіканні номінального струму 10А. Проводяться 100 замірів значень спаду напруги в кожній комутаційній серії з витримкою часу в замкненому стані контактів 10 с. Всі вимірювання дозволяла проводити електрична схема установки. Для пускача спад напруги визначався на кожному полюсі головного кола. Отриманий масив даних по спаду напруги для серійних контактів марки СpМ-0,2+М1 та дослідних 81,3%Cu+10%Cr+3%TiB<sub>2</sub>+3%Nb+2%С+0,7%Zr оброблявся з використанням методів математичної статистики з застосуванням програми «Statistika». У результаті обробки отримані експериментальні залежності перехідного контактного опору від кількості циклів комутації, які наведені на рисунку. Ці залежності апроксимувались поліномом першої степені, в результаті були визначені наступні вирази для математичного очікування контактного опору:

– для серійних контактів СpМ0,2+М1:

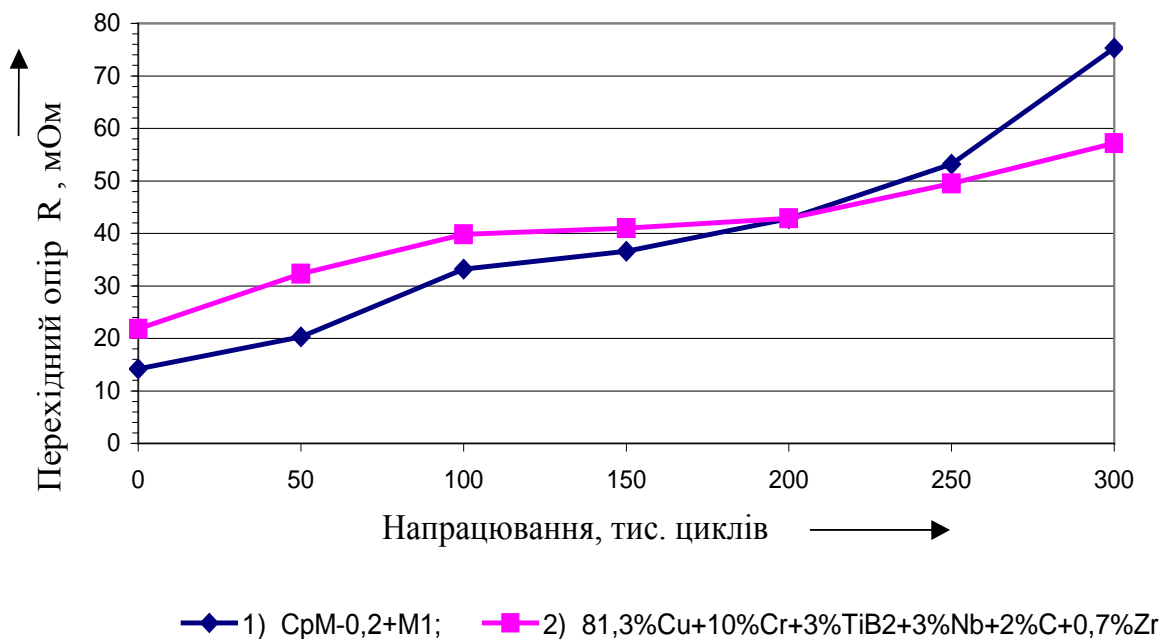
$$R_c(n) = 14,22 + 0,191 \cdot n, \quad (2)$$

(середньоквадратична похибка апроксимації  $E_c=2,141$ );

– для дослідних контактів 81,3%Cu+10%Cr+3%TiB<sub>2</sub>+3%Nb+2%С+0,7%Zr:

$$R_d(n) = 21,84 + 0,128 \cdot n, \quad (3)$$

(середньоквадратична похибка апроксимації  $E_c=1,855$ ).



**Рисунок. Залежність перехідного опору контактів пускачів ПМЛ-1100 О4 з серійними (1) та дослідними контактами (2) (випробувальне середовище: суміш  $\text{H}_2\text{S}$ (25мг/м<sup>3</sup>)+ $\text{NH}_3$ (30мг/м<sup>3</sup>))**

Дослідженнями з визначення контактного опору контактів при впливі на них середовища з хімічно-активними компонентами встановлено, що початкове значення перехідного опору контактів зростає із збільшенням часу витримки і кількості циклів комутації. Опір серійних контактів SrM-0,2+M1 збільшується майже в 5 разів порівняно з початковим, а дослідних - зростає повільніше, ніж у срібловмістких матеріалів, приблизно в 2,7 рази. Це пояснюється тим, що граничний шар складається з плівок, які утворюються на контактах і мають однорідний склад, а їх товщина зростає із збільшенням тривалості впливу середовища. Подібна плівкова структура поверхні контактування сприяє зниженню перехідного опору за рахунок подрібнення локалізованих частинок і встановлення надійного металічного контакту. Оксидні плівки міді, як відомо, утворюються і при кімнатній температурі і товщина їх досягає не більше 5 мкм. Така плівка захищає мідь від подальшого окислення киснем і стабілізує контактний опір.

**Висновки і перспективи.** 1. Проведені дослідження показали можливість використання розроблених спечених контактних матеріалів на основі міді при відновленні контактних систем пускачів, тому що питомий опір композитних контактних матеріалів на основі міді має значення, співставне з величиною питомого опору контактних матеріалів на основі срібла КМК-А10м, КМК-А40.

2. Експериментальні залежності перехідного контактного опору від кількості циклів комутації апроксимуються поліномом першої степені.

3. Динаміка збільшення величини перехідного опору дослідних контактів нижча (в 2–3,5 рази) і опір зростає повільніше, на відміну від серійних, для яких зафіксовано зростання величини опору в 5–7 раз при роботі пускачів в середовищі з хімічно активними домішками.

4. Електромагнітні пускачі з контактами із композитного матеріалу  $81,3\%Cu+10\%Cr+3\%TiB_2+3\%Nb+2\%C+0,7\%Zr$  успішно пройшли виробничі випробування в реальних електроустановках сільськогосподарських підприємств.

#### **Список використаних джерел**

1. Коробський В. В. Установка для експериментального дослідження електромагнітних пускачів / В. В. Коробський. // Наук. вісн. НУБІП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2011. – №161. – С. 78-83.

2. Клименко Б. В. Огляд та перспективи розвитку матеріалів для контактів електромеханічних апаратів низької напруги / Б. В. Клименко, В. О. Кохановський // Електротехніка і електромеханіка. – 2011. – №4. – С. 34 – 40.

3. Матеріал для електричних контактів. Заявка Японії МКІ<sup>4</sup> С22 С9/00, Н01 Н1/02 / Танака кикидзоку коге К. К. // Кокай токке кохо. – №62-30256; заявл. 55-7162; 01.24.1980; опубл. 01.07.1987, Сер. 3.

4. Мідні сплави, які містять хром, ніобій, цирконій і спосіб їх термічної та механічної обробки. Заявка Франції МКІ С22 С9/00, С22 F1/08 / Watson Gary W., Breedis John F.; Societe dite: ON CORPORATION, per pov Beau de Lomenie – Pr. EUA – №2366369; заявл. 04.10.1976; опубл. 15.09.1977, Бюл. №22. – 2 с.

5. Спечений електроконтактний матеріал на основі міді. Патент СРСР №1790821, МКІ<sup>5</sup> Н 01 Н 1/02, С 22 С 9/00 / Братерська Г.М., Коханівський С.П., Донцова Т.О., Наливайко В.А., Сагач М.Ф., Коробський В.В.; УСГА і ПІМ АН УРСР. - заявл. 22.05.1991 (для службового користування); відкритим друком не опубліковано.

6. Спечений матеріал для електричних контактів на основі міді. Патент СРСР №1792445 АЗ, МКИ<sup>5</sup> С 22 С9/00, Н 01 Н 1/02 / Братерська Г.М., Коханівський С.П., Донцова Т.О., Наливайко В.А., Коробський В.В., Мрачківський А.М.; УСГА. – №5009871/02; заявл. 03.07.91; опубл. 30.01.93, Бюл. №4. – 3 с.

7. Справочник по электротехническим материалам: справ. / под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева. – Т. 3. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 728 с.

### References

1. Korobskyy, V.V . (2011). Ustanovka dlia eksperymentalnoho doslidzhennia elektromahnitnykh puskachiv [Installation for experimental research of electromagnetic starters]. Science Journal of NUBiP Ukraine. A series of "Technology and energy in agriculture", 161, 78 – 83.

2. Klymenko, B. V., Kokhanovskyy, V. O. (2011). Ohliad ta perspektyvy rozvytku materialiv dlia kontaktiv elektromekhanichnykh aparativ nyzkoi napruhy [Overview and perspectives of materials development for contacts of electromechanical devices of low voltage]. Electrotekhnika s elektromekhanika, 4, 34 - 40.

3. Tanaka kikiidzoku koge K. K. (1987). Material for electrical contacts. Japan Application МКИ<sup>4</sup> C22 C9/00, H01 H1/02. №62-30256; declared 55-7162; 80.01.24; published 01.07.1987, № 3.

4. Watson Gary W., Breedis John F. (1977). Copper alloys containing chromium, niobium, zirconium and the method of thermal and mechanical treatment. France application МКИ C22 C9/00, C22 F1/08. Societe dite: ON CORPORATION, per pov Beau de Lomenie – Pr. EUA. №2366369; declared 04.10.1976; published 15.09.1977, № 22.

5. Brestskaya, G.M., Kokanovskyy, S.P., Dontsova, T.O., Nalyvayko, V.A., Sagach, M.F., Korobskyy, V.V. (1993). Sintered electrocontact material based on copper. Patent of the USSR МКИ<sup>5</sup> H 01 H 1/02, C 22 C 9/00. USHA and IPM Academy of Sciences of the USSR. №1790821; declared 22.05.1991 (restricted); open print not published.

6. Braterskaya, G.M., Kokanovskyy, S.P., Dontsova, T.O., Nalyvayko, V.A., Korobskyy, V.V., Mrachkivskyy, A.M. (1993). Sintered material for copper-based electrical contacts. Patent of the USSR №1792445 АЗ МКИ<sup>5</sup> С 22 С9 / 00, Н 01 Н 1/02. USHA. № 5009871/02; declared 03.07. 1991; published 30.01. 1993, №4.

7. Koritskiy, Yu.V., Pasynkova, V.V., Tareev, B.M. ed. (1988). Spravochnyk po elektrotekhnicheskym materyalam. [Handbook of electrotechnical materials. Vol. 3. - 3rd ed., recycled]. Leningrad: Energoatomizdat, 728.

## **РАЗРАБОТКА КОНТАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ И ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ**

***В. В. Коробский, А. В. Бурла***

**Аннотация.** *Приведены особенности материалов для контактов электромагнитных пускателей, а также свойства и состав разработанных композитных экологически безопасных материалов для контактных систем пускателей. Приводятся результаты исследований переходного контактного сопротивления пускателя ПМЛ-1100 с серийным и опытным материалом от количества циклов коммутации.*

*Целью работы является создание экологически безопасного контактного материала для пускателей, работающих в электроустановках сельского хозяйства, при достижении невысокой стоимости с заданным уровнем надежности по переходному сопротивлению.*

*С целью сокращения времени и средств испытания, при исследованиях применялся одноступенчатый контроль, при котором проходит испытания одна выборка (по результатам испытания которой принимают решение о соответствии требованиям надежности).*

*Учитывая служебные функции электромагнитных пускателей, используемых в электроустановках сельского хозяйства с токами 10 – 25 А, прототипом для создания исследовательских контактных материалов возьмем известные спеченные контактные материалы на основе меди КМК-Б00 (99,95% Си), КМК-Б10 (97% Си + 3% С) и КМК-Б11 (95% Си + 5% С).*

*Переходное сопротивление серийных и опытных контактных пар определяется методом вольтметра-амперметра при общем количестве циклов коммутации 300 тыс. Обработка результатов исследования осуществлялась методами математической статистики с использованием пакета прикладных программ «Statistika» (версия 10.0).*

*Проведенные исследования показали, что в целом, удельное сопротивление композитных контактных материалов на основе меди имеет значения, сопоставимое с величиной удельного сопротивления контактных материалов на основе серебра КМК-А10м, КМК-А40. Экспериментальные зависимости переходного контактного сопротивления от количества циклов коммутации аппроксимируются полиномом первой степени.*

*Динамика увеличения величины переходного сопротивления исследуемых контактов ниже (в 2 – 3,5 раза) и сопротивление растет медленнее, по сравнению с серийными, для которых зафиксирован рост величины сопротивления в 5 – 7 раз при работе пускателей в среде с химически активными добавками.*

**Ключевые слова:** *контактный материал, электромагнитный пускатель, переходное сопротивление, составляющие композиционного материала, электропроводность*

**DEVELOPMENT OF CONTACT MATERIALS BASED ON COPPER  
AND INVESTIGATION OF CONTACT RESISTANCE OF  
ELECTROMAGNETIC STARTERS**

*V. Korobsky, A. Burla*

**Abstract.** Features of materials for contacts of electromagnetic starters, as well as properties and composition of the developed composite environmentally safe materials for contactor systems of starters are given. The results of studies of the contact resistance of the PML-1100 starter with serial and experimental material on the number of switching cycles are presented.

The aim of the work is to create an environmentally friendly contact material for starters working in electrical installations of agriculture, while achieving a low cost with a specified level of reliability for the transient resistance.

In order to reduce the time and means of testing, a single-stage control is used, in which one sample is tested (according to the results of the test, a decision is made about compliance with reliability requirements).

Taking into account the service functions of the electromagnetic starters used in the electrical installations of agriculture with currents of 10 – 25 A, we use the prototype for creating research contact materials for the known sintered contact materials based on copper KMK-B00 (99.95% Cu), KMK-B10 (97% Cu + 3% C) and KMK-B11 (95% Cu + 5% C).

The transient resistance of serial and experimental contact pairs is determined by the voltmeter-ammeter method with a total number of switching cycles of 300 thousand. The processing of the results of the study was carried out using mathematical statistics using the "Statistika" software package (version 10.0).

The conducted studies showed that, in general, the resistivity of composite copper-based contact materials is comparable to the resistivity of KMK-A10m, KMK-A40 silver-based contact materials. The experimental dependences of the transition contact resistance on the number of switching cycles are approximated by a polynomial of the first degree.

Dynamics increase in the value of the transient resistance of the investigated contacts is lower (in 2 – 3.5 times) and the resistance grows more slowly, compared with the serial ones, for which the growth of the resistance value is fixed by 5 – 7 times, when the starters operate in a medium with chemically active additives.

**Key words:** *contact material, electromagnetic starter, transient resistance, compositional material components, electrical conductivity*