

---

## Аналіз можливості використання псевдорідиннометалевих контактів в електричних апаратах

**Тетяна Павленко**

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м.Івано-Франківськ, Україна  
ORCID 0000-0002-2356-4066

**Надія Габльовська**

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м.Івано-Франківськ, Україна  
ORCID 0000-0001-6204-9713

**Любов Шиндак**

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м.Івано-Франківськ, Україна  
ORCID 0009-0000-3838-0115

### Для цитування цієї статті:

Павленко Тетяна, Габльовська Надія, Шиндак Любов. Аналіз можливості використання псевдорідиннометалевих контактів в електричних апаратах. International Science Journal of Engineering & Agriculture Vol. 2, No. 2, 2023, pp. 64-74. doi:10.46299/j.isjea.20230202.06

**Надійшла до редакції:** 12 березня 2023 р.; **Схвалено:** 19 березня 2023 р.;

**Опубліковано:** 01 квітня 2023 р.

---

**Анотація:** Електричні апарати електромеханічного типу мають широке застосування у будь-якій галузі виробництва. Надійність їх роботи залежить від контактної системи. Такі вимикачі виконують функції розподілу електричної енергії в енергетичній системі та захисту під час виникнення аварійної ситуації. Тому вони є важливими елементами в системі електропостачання. Особливістю конструкцій багатоамперних автоматичних вимикачів є поділ контактів на головні та дугогасні. Головні контакти забезпечують пропускання номінального струму, а також струмів короткого замикання в зоні селективної роботи вимикача та відключення надструмів. Таким чином забезпечується процес бездугової комутації струмів головними контактами. Дугогасні контакти приймають все силове навантаження електричного ланцюга вимикача під час розходження контактів. Не виконання таких умов призводить до несвоєчасного розходження контактів і створення аварійної ситуації. Для підвищення працездатності контактів і вимикача в цілому, необхідно прагнути до зменшення їх перехідного опору в зоні контактування і підвищенню електродинамічної стійкості. У роботі проводиться аналіз можливості використання псевдорідиннометалевих контактів (ПРМК) у головних ланцюгах полюсів багатоамперних автоматичних вимикачів. Завдяки попередньому дослідженню матеріалу контактів визначена їх особливість роботи під час експлуатації. Реальною перспективою використання псевдорідиннометалевих контактів є нетрадиційні підходи, що забезпечують створення та застосування безсрібних контактів. Фізичні процеси, що виникають на робочій поверхні контактів ПРМК та їх розвиток залежить від розподілу теплового й електричного поля у динамічному режимі. Особливість матеріалу контактної композиції та технології їх виготовлення сприяють використанню різних методів та принципів приведення в контакт рідкої та твердої фази. У сукупності контактні композиції

працюють внаслідок впливу електромагнітного поля на феромагнітний плунжер завдяки дії капілярних сил.

**Ключові слова:** автоматичний вимикач, електричний контакт, перехідний опір, електродинамічна стійкість.

## 1. Вступ

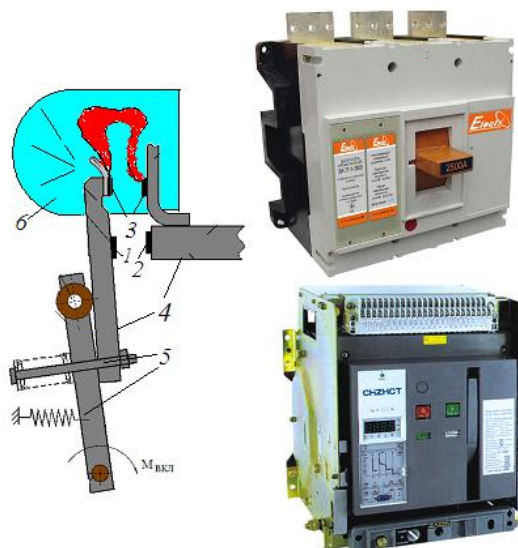
Зростання потужності промислових установок призводить до підвищення номінальних струмів будь-яких електромеханічних пристроїв. Особливо це стосується електричних апаратів, які виконують різні функції генерування електричної енергії та використання її у технологічних цілях. Наприклад, у металургійних цехах застосовуються електротехнічні установки, які беруть участь у процесі виплавки металу або електролізу. Такі установки розраховані на струми 150–200 кА. Тому для розподілу електричної енергії в установках використовуються багатоамперні вимикачі з більшими значеннями номінальних струмів. Також, завдяки таким електромеханічним пристроям відбувається захист електричних ланцюгів від струмів короткого замикання та перевантажень.

Відомо, що у комутаційних електричних апаратах під час розмикання контактів виникає електрична дуга, яка в міру їх розбіжності та внаслідок електромагнітних процесів плавно переходить у дугогасильну камеру і гасне. Тривале знаходження опорних точок дуги на робочій поверхні комутуваних контактів призводить до значного їх зносу і розвитку аварійної ситуації.

## 2. Об'єкт і предмет дослідження

Для забезпечення нормальної роботи контактної системи автоматичного вимикача проводяться різні заходи.

Багатоамперні автоматичні вимикачі мають особливу конструкцію контактної системи (рис. 1).



**Рис.1.** Контактна система та загальний вид багатоамперного автоматичного вимикача: 1; 2; 4 – головні контакти; 3 – дугогасильні контакти, 4 – контактотримач; 5 – механізм вільного розчеплення; 6 – дугогасильна система

Відповідно рисунку 1, контактна система в багатоамперних автоматичних вимикачах складається з дугогасильних і головних електричних контактів розташованих на одному контактотримачі [1].

При роботі контактної системи спочатку відбувається замикання дугогасильного контакту, потім рухомого головного контакту. При відключенні контактної системи спочатку розмикається рухливий головний контакт. При цьому весь струм перетікає у дугогасильний контакт, який розмикається після подолання люзу, що контролює провал і виникає електрична дуга. Така особливість механізму контактної системи забезпечує виконання функції багатоступеневого розриву електричного кола.

Під час проходження струмів КЗ через електричні контакти змінюються не тільки значення струму і напруги, а також зростає вплив електродинамічних зусиль, які призводять до несвочасного розмикання електричних контактів. Проява даного явища особливо небажана для багатоамперних автоматичних вимикачів.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є створення контактної композиції для багатоамперних автоматичних вимикачів високої електродинамічної стійкості, без використання коштовних та токсичних елементів та визначення механізму розподілу температурного поля при нестационарних процесах.

### 4. Аналіз літератури

Для надійності роботи автоматичних вимикачів дослідники та розробники електричних апаратів використовують різні засоби, наприклад:

- поділ контактів на ряд паралельних;
- поділ контактів на дугогасильні (ДК) і головні (ГК), які забезпечують протікання струму у номінальному режимі;
- використання електродинамічних пристроїв (компенсаторів) на дугогасильних контактах;
- виконання механізму з накопиченням енергії перед ввімкненням;
- використання миттєвого розчеплювача (для забезпечення зони селективності при відключенні).

Але всі ці рішення не враховують проблему зменшення ерозії робочої поверхні контактів, що зменшує їх ефективність. Так, наприклад, у роботах [2-5], показані особливості складів металокерамічних композицій контактних пар електричних контактів срібло-окис кадмію, срібло-вольфрам (А/CdO, Ag/W), які мають переваги у порівнянні з іншими композиціями та дуже відрізняються за температурою кипіння та іншими ознаками. Однак, дана композиція контактів містить токсичну сполуку, наприклад, окис кадмію (CdO). Пари такого складу мають шкідливий вплив на навколишнє середовище при експлуатації електричних контактів. Саме цей факт призвів до відмови виробництва та використання таких контактів в країнах Європи.

Для зменшення ерозії робочої поверхні електричних контактів застосовуються різні засоби. Багато авторів, проводячи різні експерименти, намагаються пояснити своєрідні особливості, що характерні для складів композицій електричних контактів комутаційних електричних апаратів, які виготовляються і використовуються в різних середовищах.

Щодо багатоамперних автоматичних вимикачів, то недоліком їх контактних систем є невиправдане використання срібломістких композицій у контактних накладках головного контакту. Тому що вони не несуть силового навантаження під час виникнення КЗ і застосовуються тільки для проведення струму в електричному колі. Крім того, вони мають

різномісний склад, в який можуть входити крім срібла інші складові, що мають токсичні елементи.

Показані засоби підкреслюють актуальність проблеми, але повністю все вирішити та передбачити практично неможливо.

Таким чином, розв'язання проблем що пов'язані з надійністю та покращенням роботи визначають, в цілому, конкурентоспроможність багатоамперних автоматичних вимикачів.

На цей час дедалі більше спостерігається тенденція використання контактних композицій, що не містять срібло.

Наприклад, знайшли своє застосування рідкометалеві контакти (РМК), що мають низький перехідний опір у зоні контактування контактів і високу електродинамічну стійкість, що знижує розвиток електродинамічних сил [6]. Але, такі контакти РМК мають ряд недоліків, які перешкоджають їх широкому застосуванню. До основних з них належить віднести необхідність закритого обсягу контактної вузла, що збільшує вагогабаритні показники автоматичного вимикача. Крім того, використовуються токсичні та коштовні елементи, такі як ртуть, галій, свинець та інші легкоплавкі елементи, які погіршують екологію навколишнього середовища.

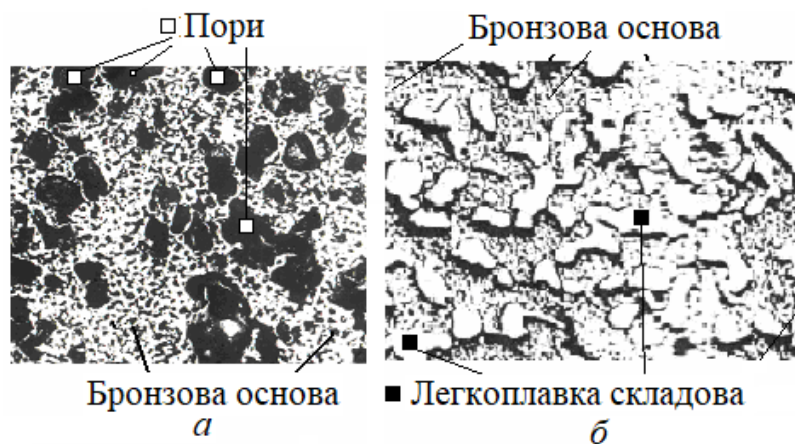
Існує рішення [7, 8] щодо використання композиційних рідкометалевих контактів (КРМК). Основною перевагою їх є те, що вони можуть поєднуватися з конструкціями наявних багатоамперних вимикачів, і використовують незначну кількість рідкого металу. В результаті, при їх роботі, досягається такий же ефект, як і від контактів РМК.

Але ці рішення вимагають спеціальної конструкції струмоприймача та контактної вузла. Це збільшує габарити автоматичного вимикача і додаткові витрати матеріалу.

У даній роботі пропонуються контактні композиції, які поєднують властивості металокерамічних (КМК) та рідкометалевих контактів (РМК). Такий склад композиції називають псевдорідкометалевими (ПРМК). Заявлений склад контактної композиції має ряд переваг у порівнянні з іншими композиціями:

- відсутність токсичних і коштовних елементів,
- низький перехідний опір,
- висока електродинамічна стійкість.

При виготовленні контактної композиції [9] використовувалася мідна або бронзова основа, яка, перед пресуванням, перемішувалася з розпушувачем для утворення пор (рис. 2, а). Кількість розпушувача та матеріалу основи змінювалося в широких межах. Після пресування та спікання заготовки контактів просочувалися легкоплавкою складовою (рис. 2, б).



**Рис.2.** Структура контактної композиції  
*а* - після спікання з утворенням пор;  
*б* - після просочення легкоплавкою складовою

На робочій поверхні таких контактів відбуваються різні процеси, які залежить від температурного розподілу поля під час проходження електричного струму. Тому під час створення композицій контактів визначалися основні параметри, які впливають на їх роботу.

Особливість роботи контактів ПРМК полягає у зміні агрегатного стану під дією температури.

## 5. Методи та результати досліджень

Для підвищення ефективності використання даного складу композицій контактів та визначення необхідних параметрів використовується аналіз теплових процесів, що відбуваються при роботі контактів ПРМК.

Перехідні процеси в контактах виникають, під час комутації струму або аварійних режимах (коротке замикання). Тому визначення постановки крайової задачі для стаціонарного процесу пов'язано з визначенням параметрів температурного та електричного поля в головних контактах ПРМК [10, 11]:

$$\operatorname{div}(\lambda(T, M)\operatorname{grad}T) + \frac{\bar{\delta}^2}{\gamma(T, M)} = 0, \quad M \in V, \quad (1)$$

$$\operatorname{div}(\gamma(T, M)\operatorname{grad}\varphi) = 0, \quad M \in V, \quad (2)$$

$$\lambda^+ \frac{\partial T^+}{\partial n} = \lambda^- \frac{\partial T^-}{\partial n}, \quad T^+ = T^-, \quad M \in S^+, \quad (3)$$

$$\gamma^+ \frac{\partial \varphi^+}{\partial n} = \gamma^- \frac{\partial \varphi^-}{\partial n}, \quad \varphi^+ = \varphi^-, \quad M \in S^-, \quad (4)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} + \beta(T - T_{cp}) = 0, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0, \quad M \in \partial V \quad (5)$$

$$\int_{S_k} \gamma \frac{\partial \varphi}{\partial n} dS = I, \quad (6)$$

де  $T(M)$  – температура в точці  $M$  контактної поверхні;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності складу композиції ПРМК;

$\gamma$  – коефіцієнт електропровідності складу композиції ПРМК (умови (1) та (2));

$\bar{\delta}$  – густина струму в точці  $M$  області  $\bar{V} = V \cup \partial V$ ,  $\bar{\delta} = -\gamma \operatorname{grad}\varphi$ ;

$n$  – число точок контактування;

$T^+$  – температура нагріву контактної поверхні за рахунок джоулевого тепловиділення у елементарних контактних плямах I і II роду;

$T^-$  – температура нагріву поверхні за рахунок тепловиділення в контактних плямах III роду;

$S^+$   $S^-$  – поверхні розподілу областей з різними тепло- та електрофізичними властивостями (умови (3) та (4));

$\beta$  – коефіцієнт зовнішнього теплообміну на поверхні ділянки  $dV$  (умова (5));

$T, T_{cp}$  – температура контакту і зовнішнього середовища;

$I$  – дійсне значення комутуючого струму (вимога (6));

$S_k$  – площа провідності контактної поверхні.

Зміни параметрів ПРМК з часом  $t$  відбуваються за рахунок їх динамічного режиму, який характеризується нестационарним та квазістационарним електричним полем. Для практичних розрахунків достатньо знати оцінку параметрів початкових (при  $t = 0$ ), кінцевих ( $t = \infty$ ) умов і постійної часу  $\tau$ .

Загальна постановка крайового завдання [12, 13] відрізняється від стаціонарного аналізу наявністю субстанційної складової та умовами Стефана, а також, рівняннями комутованого ланцюга:

$$\rho c \frac{\partial}{\partial t} \left( T + \frac{r}{c} \eta (T - T_*) \right) = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) + \frac{\bar{\delta}^2}{\gamma}, \quad M \in V, \quad t > 0, \quad (7)$$

де  $\rho$  – масова густина складу композиції ПРМК;

$c$  – питома теплоємність;

$r$  – ентальпія фазового переходу складу композиції;

$\eta$  – коефіцієнт теплообміну із зовнішнім середовищем;

$T$  – температура нагрівання поверхні;

$T_*$  – температура фазового переходу наповнювача композиції ПРМК.

Розподіл температури:

$$T(M, 0) = T_o(M), \quad (8)$$

де  $T_o(M)$  – початковий розподіл температурного поля по контактній поверхні.

Миттєве значення зміни напруги, електричного ланцюга, що комутується:

$$L_k \frac{di}{dt} + R_k i + U_{Co} + \frac{1}{C_k} \int_0^t i(\xi) d\xi = e(t), \quad (9)$$

$$i(0) = I_0, \quad (10)$$

де  $L_k$  – індуктивність електричного ланцюга;

$i(t)$  – миттєве значення комутованого струму на момент часу  $t$ ;

$R_k$  – активний опір ланцюга;

$U_{Co}$  – початкова напруга на ємності;

$C_k$  – ємність електричного кола;

$\xi$  – розподіл розплавлених мікроділянок (плям) під дією електричного струму;

$I_0$  – початкове значення комутованого струму.

Перехідні процеси, що впливають на зміну параметрів ПРМК поділяються на декілька груп з постійними часу [14, 15]. Це є характерною особливістю ПРМК. При цьому одна група постійних часу характеризує динаміку розвитку мікропроцесів, які відбуваються як поверхні контактів, і усередині самої композиції. Інша група визначає стабілізацію процесу температурного поля робочої поверхні контактів ПРМК, що має найбільше практичне значення.

З урахуванням взаємодії параметрів та внаслідок складних математичних перетворень, можна отримати співвідношення, що визначають температуру контакт-деталі.

Наприклад, якщо розглядати симетричну конфігурацію контактної системи та її елементів, то середньоінтегральна температура на поверхні контактів:

$$T_\infty = T_{cp} + \frac{P_k}{2 < \rho c > V_1} \cdot \Phi_1(t) + \frac{I^2 F_o \sqrt{a_2}}{\gamma_2 F_{cp}^2 < \rho c > V_1} \cdot \Phi_2(t), \quad (11)$$

де  $T_{cp}$  – температура навколишнього середовища;

$P_k$  – потужність при комутації струму;

$V_1$  – область поверхонь контактів (рухомого, нерухомого);

$F_0, F_{cp}$  – площа поперечного перерізу контактотримача поблизу контактних накладок та середня за його довжиною;

$\gamma_2$  – коефіцієнт електропровідності контактотримача;

$I$  – діюче значення комутованого струму;

$a_2$  – коефіцієнт температуропровідності контактотримача;

$\Phi_1, \Phi_2$  – коефіцієнти, що визначають залежність конструктивних особливостей контактів та контактотримачів.

Визначення динаміки зміни процесів температурного поля відбувається на основі аналітичного рішення:

$$\Phi_1(t) = \exp(-a_2 m^2 t) \cdot \times \left[ \frac{\varphi_1(t)}{x_1^2 - a_2 m^2} - \frac{\varphi_2(t)}{x_2^2 - a_2 m^2} \right] / \sqrt{D};$$

$$x_1 = (-B + \sqrt{D}) / 2;$$

$$x_2 = -(B + \sqrt{D}) / 2; \quad D = B^2 - 4C;$$

$$\varphi_j(t) = \exp(a_2 m^2 t) \cdot \times \left[ -x_j - m\sqrt{a_2} \cdot \operatorname{erf}(m\sqrt{a_2}t) \right] + x_j \exp(x_j^2 t) \cdot \operatorname{erfc}(-x_j \sqrt{t}), \quad j = 1, 2;$$

$$\Phi_2(t) = \exp(-a_2 m^2 t) \cdot \times \left[ \frac{\Psi_1(t)}{x_1^2 - a_2 m^2} - \frac{\Psi_2(t)}{x_2^2 - a_2 m^2} \right] / D;$$

$$\Psi_j(t) = \exp(a_2 m^2 t) \cdot \left[ \frac{x_j}{m\sqrt{a_2}} \cdot \operatorname{erf}(m\sqrt{a_2}t) - 1 \right] + \exp(x_j^2 t) \cdot \operatorname{erfc}(-x_j \sqrt{t}), \quad j = 1, 2.$$

$$B = \frac{\lambda_2 F_0}{\sqrt{a_2} <\rho c> V_1}, \quad C = \frac{<\beta> S_1}{<\rho c> V_1} - a_2 m^2,$$

$$<\rho c> V_1 = \rho_1 c_1 \pi R^2 H + \rho_2 c_2 \left( \frac{\pi R^2 h}{2} + 2R^2 h \right),$$

$$<\beta> S_1 = \beta_1 2\pi R H + \beta_2 \left( \pi R h + \frac{\pi R^2}{2} + 2R h + 2R^2 \right),$$

де  $h$  – висота контакту,  $h = h_1 = h_2$

$\beta$  – коефіцієнти теплообміну,  $\beta = \beta_2 = \beta_{21} = \beta_{22}$ .

$R$  – радіус контактної робочої поверхні;

$H$  – висота контакту з контактотримачем.

З урахуванням:

$$a^2 = \frac{\lambda_2}{\rho_2 c_2}, \quad m^2 = \frac{\beta^2 P_{cp}}{\lambda_2 F_{cp}},$$

отримується постійна часу:

$$\tau = \frac{\rho_2 c_2 F_{cp}}{\beta^2 P_{cp}}. \quad (12)$$

Таким чином, аналіз отриманого рішення однозначно вказує, що постійна часу процесу макроскопічної сталості температури контакту дорівнює:

$$\tau = \frac{1}{a_2 m^2}. \quad (13)$$

Що стосується постійної часу для мікроскопічного температурного поля, то вона дорівнює:

$$\tau_o = R^2 / 2a, \quad (14)$$

З формули (9) однозначно видно, що постійна часу на декілька порядків менша  $\tau$  у формулі (8).

Під час оцінки постійної часу несиметричних конфігурацій ПРМК для попереднього розрахунку можна використовувати середні значення параметрів:

$$\rho_2 = \frac{\rho_{21} + \rho_{22}}{2}; \quad C_2 = \frac{C_{21} + C_{22}}{2}; \quad F_{cp} = \frac{F_{cp1} + F_{cp2}}{2};$$

$$\beta_2 = \frac{\beta_{21} + \beta_{22}}{2}; \quad P_{cp} = \frac{P_{cp1} + P_{cp2}}{2}.$$

З використанням методу апроксимації або таблиць можна визначити функції  $erf(x)$  при  $x \geq 0$  або  $erfc(x)$ :

$$erf(x) \approx 1 - \sum_{j=1}^3 \hat{a}_j \eta^j \exp(-x^2), \quad \eta = \frac{1}{1 + px},$$

$$p = 0,47047, \quad \hat{a}_1 = 0,3480242,$$

$$\hat{a}_2 = -0,958798, \quad \hat{a}_3 = 0,7478556;$$

$$erfc(x) \approx \left( \sum_{j=0}^4 \hat{b}_j x^j \right)^{-4}, \quad \hat{b}_0 = 1,$$

$$\hat{b}_1 = 0,278393, \quad \hat{b}_2 = 0,230389,$$

$$\hat{b}_3 = 0,000972, \quad \hat{b}_4 = 0,078108.$$

Наприклад, розрахунок параметрів для конкретного випадку:

$$R = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad H = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$b_0 = 10^{-2} \text{ м}; \quad b_{cp} = b_0; \quad h = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$



Параметри матеріалу основи контактної композиції ПРМК (індекс 1) та контактотримача (індекс 2): масова густина, питома теплоємність, коефіцієнт теплообміну:

$$\begin{aligned}\rho_1 &= 8,94 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3; & c_1 &= 385 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}; \\ \beta_1 &= 70 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}; \\ \rho_2 &= 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3; & c_2 &= 386,5 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}; \\ \beta_2 &= 70 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};\end{aligned}$$

Якщо за основу контактів ПРМК взяти мідь або бронзу то для визначення часу використовується вираз:

$$\begin{aligned}\frac{T_\infty - T_{cp}}{T_{\infty ust} - T_{cp}} &\approx 0,1138434[1 - \exp(-u)] + \\ &+ 0,8861563 \operatorname{erf}(\sqrt{u}),\end{aligned}$$

де  $T_{\infty ust} = T_\infty|_{t=\infty}$ ;  $u = t/\tau$ ;

то постійна часу  $\tau = 38,65$  с.

Насправді процес відбувається досить швидко, що пов'язано з нелінійними ефектами. Тоді з урахуванням виразу (11) та формули Дюамеля:

$$\begin{aligned}T_\infty(t) &= T_{cp} + \frac{\int_0^t P_k(t-\eta)\Phi_1(\eta)d\eta}{2 < \rho c > V_1} + \\ &+ \frac{I^2 F_o \sqrt{a_2}}{\gamma_2 F_{cp}^2 < \rho c > V_1} \cdot \Phi_2(t)\end{aligned}\quad (15)$$

За допомогою теорії поля з урахуванням особливостей зміни теплових та електричних процесів розроблена спрощена модель та отримані необхідні параметри, що характеризують роботу ПРМК у динамічному режимі.

## 6. Висновки

Аналіз властивостей та параметрів ПРМК показав, що при перехідних процесах мікроскопічне температурне поле в області контактної зони провідності можна вважати квазістаціонарним, а при макроскопічному полі змінюється в часі зі зміною середньоінтегральної температури контакт-деталей  $T_\infty(t)$ . При цьому потужність втрат на контактах  $P_k(t)$  є алгебраїчною функцією при  $T_\infty$ . Отримана модель, звичайно, не є оптимальною, але на даному етапі досліджень дає змогу вперше визначити зміни параметрів ПРМК при стаціонарних і нестаціонарних процесах.

---

### Список літератури:

- 1) Беляєв В.Л. (2005). Особенности работы и конструкций многоамперных автоматических выключателей: Учеб. пособ. – СПб.:СЗТУ, 254.
- 2) В.Н. Постольник, Л.Г. Серeda, Ю.П. Павленко (1988). Исследование металлокерамических контактов на основе серебра и вольфрама в автоматических выключателях на напряжение до 1000 В. Сб. научн. тр. Низковольтные аппараты защиты и управления, 89–96.
- 3) Кано Харуми, Мано Канио (1980). Экспериментальные исследования электрических разрядов в контактных группах. Repts.Fac. Sci. and Tehnol/Meijojo Univ.”, 20, 41–50.

4) В.В. Зиновкин, О.Г.Волкова (2007) Методика анализа и контроля сопротивления контактов переключающих устройств в процессе многократных коммутаций. Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика», Дніпродзержинськ : ДДТУ, 483-484.

5) В.П. Игнатко, В.А. Кухтиков (1972). Исследование эрозийных процессов в условиях сильнотоочной квазистационарной дуги. Сб. научн. тр. Сильноточные электрические контакты, Киев: Наукова думка, 25–28.

6) Брон О.Б., Беляев В.Л. (1984). Электрическая стойкость композиционных жидкометаллических контактов. Электромеханика, 8. 76 – 81.

7) Павленко Т.П. (2013) Контактные композиции для многоамперных автоматических выключателей. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, Харьков: Информационный журнал. 4, 59–63.

8) В.В. Зиновкин, С.И.Арсеньева, О.Г.Волкова (2008). Исследование температурного поля контактов переключающих устройств методом обратной задачи теплопроводности. Вісник Кременчукського державного політехнічного університету ім.. М.Остроградського. Кременчук: КДПУ, Вип.4(51), Ч.2, 34-36.

9) Павленко Т.П. (2009). Физические процессы на поверхности контактов с учетом потоков плазмы и термоэмиссионной активности материала. Електротехніка і Електромеханіка. 1, 25–28.

10) Милых В.И., Т.П. Павленко (2011). Фазовые превращения и свойства состояния системы контактной композиции. Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання. Кременчук: КНУ. Вип.1/2011(1), 244–245.

11) Павленко Ю.П., Гапоненко Г.Н., Крыгина Т.П. (1993) Новый контактный материал для многоамперных выключателей. Сб. научн. тр. «Низковольтные аппараты защиты и управления». Харьков: ВНИИЭА, 223–229.

12) 5. Павленко Т.П. (1999) Псевдожидкометаллические контакты электрических аппаратов с бездуговой коммутаией. Інтегровані технології та енергозбереження, Харків: ХДПУ, 4, 69–72.

13) В.Г. Дегтярь, А.В. Иванов (1981) Сильноточные жидкометаллические коммутационные аппараты. Электротехническая промышленность. Аппараты низкого напряжения. 1, 18 – 19.

14) О.Г.Волкова, В.В. Зиновкин (2008) Диагностика технического состояния контактов переключающих устройств методом обратной задачи теплопроводности. Вісник НТУ «ХП».

15) Павленко Т.П. (2007). Влияние активации на износ электрических контактов для сильнотоочных электрических аппаратов. Електротехніка і Електромеханіка. – Харьков. 3, 44–47.

---

## **Analysis of the possibility of using pseudo-liquid metal contacts in electrical devices**

### **Tatyana Pavlenko**

Department of Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
ORCID 0000-0002-2356-4066

### **Nadiia Hablovska**

Department of Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
ORCID 0000-0001-6204-9713

**Liubov Shyndak**

Department of Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

---

**Abstract:** Electrical devices of the electromechanical type are widely used in any industry. The reliability of their work depends on the contact system. Such switches perform the functions of distribution of electrical energy in the power system and protection during an emergency. Therefore, they are important elements in the power supply system. A feature of the designs of multi-amp circuit breakers is the division of contacts into main and arc extinguishing. The main contacts ensure the passage of nominal current, as well as short-circuit currents, in the zone of selective operation of the switch and disconnection of overcurrents. In this way, the process of arc-free switching of currents by the main contacts is ensured. Arc-quenching contacts accept the entire power load of the electrical circuit of the switch during the separation of the contacts. Failure to meet these conditions leads to untimely disconnection of contacts and the creation of an emergency. To increase the performance of the contacts and the switch as a whole, it is necessary to strive to reduce their transient resistance in the contact zone and increase the electrodynamic stability. The paper analyzes the possibility of using pseudo-liquid metal contacts (PLMC) in the main pole circuits of multi-amp circuit breakers. Due to the preliminary study of the material of the contacts, their feature during operation was determined. The real prospect of using pseudo-liquid metal contacts is non-traditional approaches that ensure the creation and application of silver-free contacts. Physical processes that occur on the working surface of PRMC contacts and their development depend on the distribution of the thermal and electric field in the dynamic mode. The peculiarity of the material of the contact composition and the technology of their production contribute to the use of various methods and principles of bringing the liquid and solid phases into contact. Collectively, contact compositions work due to the influence of an electromagnetic field on a ferromagnetic plunger due to the action of capillary forces.

**Keywords:** Automatic switch, Electrical contact, Transient resistance, Electrodynamic stability.

---