

4. Пат.№ 70793 Україна, МПК А01G 9/00. Теплиця енергозберігаюча /Лазоренко В.О.; власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. –№ u 2011 14538; заявл. 7.12..2011; опубл. 25.06.2012, Бюл.№12.

*Изложены результаты разработки электро-солнечной аккумуляционной системы теплоснабжения теплиц с использованием вакуумных гелиоколлекторов и результаты исследований ее энергоэффективности. Определен коэффициент замещения тепловой нагрузки.*

**Теплица, электро-солнечная аккумуляционная система, вакуумный гелиоколлектор, теплоснабжение, энергоэффективность, коэффициент замещения тепловой нагрузки.**

*Results of development of the electric- sunnily accumulation system of hotbrining of hothouses with using vacuum geliocollector and results of research of their energy efficiency are expounded. Coefficient of substitution warm loading is certain.*

**Hothouse, vacuum geliocollector, hotbrining, electric- sunnily accumulation system, energy efficiency, coefficient of substitution warm loading.**

УДК 621.3.066.5/6:636

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ З НОВИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ КОНТАКТНИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

***В.В. Коробський, кандидат технічних наук  
О.В. Савченко, студент магістратури***

*Наведено завдання, розроблено програму для комплексного дослідження електромагнітних пускачів з новими композиційними контактними матеріалами та наведено методики проведення експериментальних досліджень для забезпечення підвищення ефективності та експлуатаційної надійності електромагнітних пускачів сільськогосподарських електроустановок.*

***Електромагнітний пускач, експериментальні дослідження, контактний матеріал, показник надійності, контактний натиск, перехідний опір, електричне зношування. стійкість проти зварювання.***

У процесі експлуатації електромагнітних пускачів у комутуючих пристроях, інших елементах конструкції відбуваються незворотні процеси зміни фізико-хімічних, фізико-механічних та діелектричних властивостей електроізоляційних матеріалів, руйнування втомленості контактних та

спрацювання конструкційних матеріалів, які в кінцевому рахунку призводять до відмови електромагнітних пускачів.

Фактичні показники надійності комутаційних апаратів, які експлуатуються в тваринницьких виробничих приміщеннях (особливо такі показники безвідмовності та довговічності як імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ , термін служби  $T_{сл}$ ) не відповідають заданим, нормованим показникам.

Існують різні заходи для забезпечення та підвищення надійності пускачів, які працюють у сільському господарстві, але для їх реалізації потрібні додаткові вкладення коштів і кваліфікована праця обслуговуючого персоналу, що не завжди є в наявності у господарств.

**Мета досліджень** – розробка заходів, реалізація яких забезпечить підвищення ефективності та експлуатаційної надійності електромагнітних пускачів з композиційними контактними матеріалами з гетерогенною структурою на основі міді для сільськогосподарських електроустановок.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1) проаналізувати особливі умови експлуатації пускачів в електроустановках тваринництва та фактори навколишнього середовища, причини несправностей (особливо комутуючих пристроїв) та їх основні експлуатаційні показники надійності;

2) провести аналіз існуючих контактних матеріалів, які застосовуються в електромагнітних пускачах, визначити можливі шляхи економії срібла та провести лабораторні кліматичні випробування на корозійну тривкість альтернативних контактних матеріалів на основі міді;

3) створити математичну модель прогнозування перехідного опору  $R_{пер}$  та електроерозійного зношування контакт-деталей пускачів залежно від факторів навколишнього середовища та кількості комутаційних циклів;

4) розрахувати значення глибини проплавлення, величини електричної ерозії та терміну служби контактів на базі вдосконаленої математичної моделі теплових процесів у комутуючих пристроях електромагнітних пускачів.

Для вирішення наведених завдань потрібно провести комплекс досліджень, основні етапи якого наведені в таблиці. Експериментальні дослідження пускачів фактично починаються з етапу №2.

**Матеріали та методика досліджень.** Дослідження фізико-механічних властивостей контактних матеріалів і експлуатаційні випробування пускачів.

Густина контактного матеріалу визначається методом гідростатичного зважування зразків у дистильованій воді [1, 8]. За кінцеві результати приймається середня величина не менше п'яти зважувань з похибкою, яка не перевищувала 3 %. Формула для визначення густини  $\gamma$ , г/см<sup>3</sup>, матеріалу:

$$\gamma = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \gamma_B, \quad (1)$$

де  $m_1$  – маса контакту, зваженого в повітрі, г;  $m_2$  – уявна маса контакту, зваженого у воді, г;  $\gamma_B$  – густина води, г/см<sup>3</sup>, ( $10^3$  кг/м<sup>3</sup>).

**Основні етапи комплексного дослідження електромагнітних пускачів з новими композиційними контактними матеріалами**

Етапи дослідження	Вид дослідження	Мета дослідження	Основні визначальні параметри
1	Дослідження фактичних умов експлуатації і режимів роботи пускачів	Вивчення умов роботи комутуючого пристрою пускача щодо формування вимог для контактних матеріалів	1.Струмові навантаження і характер навантаження електроустановок. 2.Режими роботи пускачів. 3.Нормовані і фактичні параметри навколишнього середовища
2	Фізико-механічні лабораторні дослідження нових контактних матеріалів	Вивчення впливу фізико-механічних властивостей на показники експлуатаційної надійності	1.Густина. 2.Твердість. 3.Характеристики міцності. 4.Питомий електричний опір. 5.Теплофізичні властивості
3	Випробування створених матеріалів на електроерозійну стійкість	Визначення закономірностей масопереносу та ерозії розривних контактів від виду домішок, величини напруги, струму, кількості комутаційних циклів	1.Електроерозійний знос зразків контактних матеріалів. 2.Контактний опір зразків матеріалів
4	Лабораторні кліматичні випробування розроблених матеріалів	Виявлення найбільш корозійнотривких матеріалів	1.Корозійні втрати. 2.Перехідний опір
5	Вивчення структури утворення, морфології робочих поверхонь контактів	Вивчення впливу домішок, виду формування структури, вивчення поверхні розривних контактів під впливом параметрів дуги комутації	1.Мікроструктура. 2.Рельєф. 3.Спектральний аналіз робочих поверхонь
6	Лабораторні дослідження електромагнітних пускачів ПМЛ в категорії застосування АС-3	Вивчення впливу факторів навколишнього середовища на показники надійності пускача в модельних умовах зовнішнього середовища	1.Перехідний опір контактів. 2.Зносостійкість матеріалів. 3.Перевищення температури контактів і температура електромагнітних котушок. 4.Дослідження на вмикальну і вимикальну здатність пускача
7	Експлуатаційні випробування пускачів з розробленими контактними матеріалами	Визначення експлуатаційних показників надійності пускачів у виробничих умовах	1.Провал контактів. 2.Хід контактів. 3.Контактний натиск. 4.Перехідний опір. 5.Контроль і перевірка електричного опору ізоляції

Зважування контактів проводиться на вагах, які забезпечують точність зважування не менше  $10^{-4}$  г. Повторність зважування становила не менше трьох разів і за кінцевий результат приймається середнє арифметичне значення.

*Твердість (мікротвердість)* фазових складових композиційних спечених матеріалів, яка називається уявною твердістю, визначається методом Вікерса за допомогою приладу ПМТ-3. Дослідження проводяться на трьох зразках кожного виду матеріалу. На кожному зразку здійснюється не менше п'яти замірів [6].

*Міцність* створених композиційних матеріалів визначається випробуванням зразків на розрив на розривній машині РМУ-0,05-1,0 (ГОСТ 7855-84).

*Визначення шорсткості* поверхні контакт-деталей здійснюється за допомогою профілографа-профілометра, моделі 201 (похибка вертикального збільшення – 5%). При цьому реєструється як параметр  $R_a$  (середнє арифметичне відхилення мікронерівностей від середньої лінії профілю), так і виконується записування в збільшеному масштабі мікронерівностей поверхні на електротермічному папері.

*Теплофізичні випробування* матеріалу проводяться згідно з [13, 14], а *випробування на перевищення температури* комутуючого пристрою та інших частин пускачів над температурою навколишнього середовища – безпосередньо на пускачах при проходженні через всі струмоведучі полюси номінального змінного струму в тривалому режимі [2, 3].

Середня об'ємна температура контакт-деталі визначається за допомогою термопари з діаметром електродів  $(1,0 \pm 0,1)$  мм [9]. Вимірювання термо Е.Р.С. проводиться за допомогою мультиметра або вольтметра постійного струму. Випробування проводиться при температурі навколишнього середовища  $(20 \pm 5)$  °С, що дозволяє не вводити поправки впливу температури навколишнього середовища на одержане значення перевищення температури комутуючого пристрою. Довірча границя основної похибки вимірювання температури дорівнює не більше  $\pm 1\%$  при довірчій імовірності  $P=0,95$  [15].

Середнє перевищення температури електромагнітних котушок пускачів визначається резисторним методом – за зміною опору [3]. Перевищення температури котушки  $\Delta\theta$ , °С, над температурою навколишнього середовища обчислюється за формулою:

$$\Delta\theta = \frac{R_2^k - R_1^k}{R_1^k} (k + R_1^k) + \theta_1 - \theta_2, \quad (2)$$

де  $R_2^k$  – електричний опір котушки при температурі  $\theta_2$ , Ом;  $R_1^k$  – електричний опір котушки при температурі  $\theta_1$ , Ом;  $k$  – коефіцієнт, який чисельно дорівнює оберненому значенню температурного коефіцієнта омичного опору матеріалу проводу котушки (для міді  $k=235$ );  $\theta_2$  – температура навколишнього середовища при вимірюванні електричного опору в нагрітому стані

катушки, °С;  $\theta_1$  – температура навколишнього середовища при вимірюванні електричного опору в холодному стані катушки, °С.

*Питомий електричний опір* зразків контактного матеріалу  $\rho$ , Ом·м, визначається за формулою [1]:

$$\rho = \frac{RS}{L}, \quad (3)$$

де  $R$  – загальний опір зразка, Ом;  $S$  – поперечний переріз зразка, мм<sup>2</sup>;  $L$  – довжина зразка, м.

Вимірювання електричного опору зразків проводяться методом вольтметра-амперметра на постійному струмі з використанням вольтметра постійного струму. Похибка при вимірюваннях – не більше 0,5 % [3, 12].

*Провал і хід контактів* пускачів контролюється за допомогою стояка СІІІ (ГОСТ 10197-70) за стандартною методикою з використанням електричного індикатора згідно з ТУ48-І-391(392)-81, ТУ16-91.ИГЕВ.644131.001ТУ, ТУ16-685.020-85. Переміщення траверси вимірюється індикатором лінійних переміщень ІЧ (ГОСТ 577-68), точністю 0,01 мм [3].

*Контактний натиск* контактів-зразків і контакт-деталей пускача перевіряється в увімкненому положенні за допомогою динамометра з ціною поділки 0,245Н [3].

*Надійність контактування* оцінюється за характером зміни перехідного опору.

*Перехідний опір* експериментальних контактних пар визначається методом вольтметра-амперметра [10] з використанням універсального вольтметра В7-35 і амперметра із дзеркальною шкалою Э514 з класом точності 0,5 (ГОСТ 8711-78). Заміри перехідного опору проводяться до і після кожної серії комутаційних циклів при протіканні номінального струму. Для кожної пари проводяться 10 замірів спаду напруги після кожної комутації з витримкою часу в замкнутому стані 10 с. Для пускача спад напруги визначається на кожному полюсі головного кола.

Опір контакту  $\Delta R$ , мОм, розраховується за формулою [5, 10]:

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{I}, \quad (4)$$

де  $\Delta U$  – спад напруги на контактному переході, мВ;  $I$  – струм, А.

Похибка при вимірюванні спаду напруги не перевищує 3 %. Допускається похибка виміру перехідного опору контакту в межах  $\pm 10$  % з імовірністю  $P=0,95$ . Розрахунок похибки перехідного опору  $\delta$ , %, проводиться за формулою [5]:

$$\delta = 1,1\sqrt{\delta_V^2 + \delta_A^2}, \quad (5)$$

де  $\delta_V$  – похибка вольтметра, %;  $\delta_A$  – похибка амперметра, %.

Випробовування зразків контактних матеріалів та контактів пускачів на *електричне зношування (ерозію)* проводиться з частотою 2400–600 циклів увімкнення-вимкнення на годину, що відповідає технічній документації на серійні і розроблені контактні матеріали та вищеназвані пускачі [11]. Для експе-

риментальних лабораторних випробувань найприйнятнішим є ваговий (масовий) метод визначення зносу [10]. Зразки-контакти і рухомі та нерухомі контакт-деталі до і після кожної комутаційної серії зважуються на вагах з точністю  $10^{-4}$  г. Повторність зважування не менше трьох разів.

Зміна ваги (маси) контакту (рухомого і нерухомого)  $\Delta m$ , г, після кожної серії комутаційних циклів визначається як:

$$\Delta m = m_1 - m_2, \quad (6)$$

де  $m_1$  – маса контакту перед початком комутаційних випробувань, г;  $m_2$  – маса контакту після серії комутаційних випробувань, г.

Абсолютний знос контактів визначається як сума зміни маси рухомого і нерухомого контактів:

$$\Delta m_{\text{абс}} = \Delta m_{\text{рк}} + \Delta m_{\text{нк}}, \quad (7)$$

де  $\Delta m_{\text{рк}}$  – зміна маси рухомого контакту, г;  $\Delta m_{\text{нк}}$  – зміна маси нерухомого контакту, г.

Як критерій зносу приймається зміна маси матеріалу контактів за один комутаційний цикл  $k$ , г/цикл, (коефіцієнт інтенсивності зношування):

$$k = \frac{\Delta m_{\text{абс}}}{n} = \frac{\sum \Delta m_i n_i}{\sum n_i^2}, \quad (8)$$

де  $n$  – кількість комутаційних циклів у серії, цикл.

*Стійкість проти зварювання* контактних матеріалів визначається на спеціальній установці за стандартною методикою. Суть способу полягає в тому, що в комутуючому пристрої при увімкненні моделюється найтипівіший режим зварювання контактів – протікання короткочасного імпульсу зварювального струму при іонізації дуги комутації в процесі замикання та розмикання контактів. При проведенні досліджень регулюються такі вхідні параметри: величина сили струму та тривалість імпульсу зварювального струму, контактний натиск, швидкість руху контактів. Вихідними параметрами дослідження є: мінімальна величина сили зварювального струму  $I_{\text{зв}}$  при імовірності зварювання  $P=0,95$  та зусилля відриву.

Пристрій для досліджень складається з комбінованого джерела зварювального струму, комутуючого пристрою та розривної машин РМУ-2, яка визначає величину зусилля розриву в межах від 1 до 1000 Н з похибкою 3 %.

*Перевірка електроізоляційних властивостей* пускача проводиться при експлуатаційних виробничих випробуваннях шляхом виміру електричного опору ізоляції омметром постійного струму Ф4108-1 при напрузі 500В з похибкою  $\pm 10$  % [3]. Заміри проводяться на початку досліджень і в процесі випробування.

*Випробування на вмикальну і вимикальну здатність* пускачів з новими контактними матеріалами проводяться на лабораторній установці в режимі виняткових комутацій. Випробування на електроерозійну зносостійкість проводяться при номінальному струмі в категорії застосування АС-3 (режим нормальних комутацій).

## Висновки

1. Розроблено завдання для забезпечення підвищення ефективності та експлуатаційної надійності електромагнітних пускачів з композиційними контактними матеріалами з гетерогенною структурою.
2. Визначено етапи комплексного дослідження електромагнітних пускачів, в яких серійні срібломісткі контакт-деталі пропонується замінити новими композиційними контактними матеріалами на основі міді.
3. На основі нормативних документів розроблено методику, що забезпечує проведення експериментального комплексного дослідження електромагнітних пускачів при заміні контактних матеріалів.

## Список літератури

1. Аппараты электрические коммутационные. Контакты на основе серебра. Технические условия: ГОСТ 19725-74. – [Чинний від 01.09.74]. – М.: Изд-во стандартов, 1984 . – 50 с.
2. Аппараты электрические на напряжение до 1000 В. Допустимые температуры нагрева частей аппаратов: ГОСТ 403-73. – [Чинний від 01.01.74]. – М.: Изд-во стандартов, 1973 . – 5 с.
3. Апарати електричні низьковольтні. Методи випробувань: ДСТУ 2993 - 95 (ГОСТ 2933 - 93). – [Чинний від 01.01.96], – К.: Держстандарт України, 1996. – 57 с.
4. Зносостійкість виробів. Тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення: ДСТУ 2823-94. – [Чинний від 01.01.96]. – К.: Держстандарт України, 1996. – 33 с.
5. Изделия коммутационные, установочные и соединители электрические. Методы измерения сопротивления контакта и динамической и статической нестабильности переходного сопротивления контакта: ГОСТ 24606.3-82 (СТ СЭВ 3985-83). – [Чинний від 01.01.84]. – М.: Изд-во стандартов, 1982 . – 6 с.
6. Матеріали металеві, спечені, крім твердих сплавів. Визначення уявної твердості матеріалів в основному з рівномірною твердістю у перерізі: ДСТУ 3668-97 (ГОСТ 25698-98) (ISO 4498-1:1990). – [Чинний від 01.07.99]. – К.: Держстандарт України, 1999. – 22 с.
7. Матеріали металеві спечені, крім твердих сплавів. Зразки для випробування на розтяг: ДСТУ 3670-97 (ГОСТ 18227-98) (ISO 2740:1986), – [Чинний від 01.07.99]. – К.: Держстандарт України, 1999. – 14с.
8. Металлургия порошковая. Метод определения плотности формовок: ГОСТ 25281-82 (СТ СЭВ 2287-80). – [Чинний від 27.05.82]. – М.: Изд-во стандартов, 1984 . – 11 с.
9. Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворення: ДСТУ 2837-94 (ГОСТ 6616-94). – [Чинний від 01.01.97]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 38 с.
10. Петинов О.В. Испытание электрических аппаратов: учеб. пособие для вузов по спец. «Электрические аппараты» / О.В.Петинов, Е.Ф.Щербаков. – М.: Высш. шк., 1985. – 215 с.
11. Пускатели электромагнитные низковольтные. Общие технические условия: ГОСТ 2491-82 (СТ СЭВ 5535-86). – [Чинний від 01.01.84]. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 24 с.
12. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ГОСТ 8.207-76. – [Чинний від

01.01.77]. – М.: Изд-во стандартов, 1977 . – 7 с.

13. Соединения контактные электрические. Правила приемки и методы испытаний: ГОСТ 17441-84. – [Чинний від 29.11.84]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 199 с.

14. Теплофізичні випробування матеріалів. Терміни та визначення: ДСТУ Б А.1.1-6-94. – [Чинний від 10.01.94]. – К.: Держкоммістобудування України, 1994. – 34 с.

15. Термоперетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом. Загальні технічні вимоги: ДСТУ 2838-94. – [Чинний від 01.01.96]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 14 с.

*Приведено задание, разработана программа для комплексного исследования электромагнитных пускателей с новыми композиционными материалами и приведены методики проведения экспериментальных исследований для обеспечения повышения эффективности и эксплуатационной надежности электромагнитных пускателей сельскохозяйственных электроустановок.*

***Электромагнитный пускатель, экспериментальные исследования, контактный материал, показатель надежности, контактное нажатие, переходное сопротивление, электрический износ, стойкость к свариванию.***

*Given task , a program for the integrated study of electromagnetic starters with new composite materials and methods are given for experimental research to improve the efficiency and operational reliability of electromagnetic starters agricultural installations.*

***Electromagnetic starter, experimental research, contact material, the reliability index, contact pressure, the contact resistance, the electric wear, resistance to welding.***

УДК 631.563.2

## **ОБГРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПІВ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ЗЕРНА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НВЧ-ТЕХНОЛОГІЙ**

***С.Г. Білик, І.В. Калиній, кандидати технічних наук  
В.Я. Бунько, А.П. Марисюк, старші викладачі  
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»***

*Наведено основні принципи сушіння зерна, які слід використовувати при оптимізації конструктивних параметрів, синтезі технологічних схем і виборі режимів сушіння зерна. Досліджено вплив коефіцієнта*