

УДК 621.3:620.96

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ УМОВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

*І. П. Радько, кандидат технічних наук, доцент*

*В. А. Наливайко, кандидат технічних наук, доцент*

*О. В. Окушко, кандидат технічних наук, доцент*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [nva041@ukr.net](mailto:nva041@ukr.net)*

**Анотація.** *Мета дослідження – пошук нових шляхів економії дорогоцінних матеріалів.*

*Проведено дослідження частоти комутацій електричних апаратів в агропромислових електроустановках та аналіз використання композиційних матеріалів на основі срібла з метою їх ефективного використання та наведено основні напрямки, що будуть сприяти цьому. Обгрунтована доцільність розширення спектру комутаційних апаратів з різною граничною електрозносоустійкістю.*

**Ключові слова:** *електричний апарат, композиційні контактні матеріали, ресурсозбереження, природні ресурси*

**Актуальність.** Срібло та композиційні матеріали на його основі використовуються для виготовлення контактів комутаційних електричних апаратів як єдиний матеріал, який здатний забезпечити низький та стабільний перехідний опір і високу протидію електродуговій ерозії. Зростання вартості дорогоцінних матеріалів, вичерпність традиційних ресурсів зумовлює до пошуку шляхів їх більш раціонального використання та економії. В Україні відсутні запаси срібла. Основні стратегічні напрямки зниження затрат на використання срібла полягають в ефективних заходах його використання на етапах виготовлення апарату, проектування схем керування електрообладнанням та правильній експлуатації комутаційних апаратів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В даний час промисловістю випускаються магнітні пускачі з різними класами зносостійкості від 0,3 до 4 млн.

циклів і автоматичні вимикачі з зносостійкістю 20-100 тис. циклів [3]. Більшість наукових розробок направлені на збільшення електрозносостійкості та дугостійкості контактних матеріалів. Активно ведуться роботи з розробки композиційних матеріалів з малим вмістом срібла [2]. На сьогоднішній час мало досліджуються електричні контакти електроустановок агропромислового комплексу.

**Мета дослідження** – пошук нових шляхів економії дорогоцінних матеріалів.

**Матеріали та методи дослідження.** Під час досліджень застосовувались методи математичної статистики та теорії ймовірностей.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Срібло або композиційні матеріали на основі срібла використовуються для виготовлення контактів комутаційних електричних апаратів. Інколи вартість контактних матеріалів досягає половини вартості всього апарату. Внаслідок впливу електродугової ерозії частина благородних матеріалів безповоротно втрачається. Значення сили струму комутації визначають ступінь електричної ерозії, величина якої визначається за формулою:

$$\Delta M = 10^{-9} \cdot k_e \cdot I_k^2 \cdot n \quad (1)$$

де:  $\Delta M$  - маса металу, яка зруйнована електродуговою ерозією, гр.;  $k_e$  - коефіцієнт ерозії, який враховує властивості контактного матеріалу;  $I_k$  - величина струму комутації, А;  $n$  - кількість комутаційних циклів.

Оскільки зменшення маси контактів прямо пропорційне числу комутацій, то кожний електричний апарат характеризується граничним числом комутацій, або електричною зносостійкістю. В комутаційних апаратах маса контактів є різною і знаходиться в межах від декількох міліграм в слаботочних реле до десятків грам в сильноточних апаратах. В більшості випадків ресурс електричної зносостійкості використовується абсолютно неефективно, що призводить до економічних збитків.

Нами досліджувались режими роботи низьковольтних комутаційних апаратів, призначених для управління різним технологічним обладнанням сільськогосподарського призначення в 12 агрофірмах, які розташовані в різних регіонах України. В загальному обстежено біля 1000 апаратів. Результати спостережень утворюють дискретний варіаційний ряд (таблиця 1). Позначимо змінною  $x$  - число комутацій. Відповідне їй число електричних апаратів (частота) позначимо через  $m_i$ ,  $n = 9800$  - об'єм виборки.

Для наглядного зображення варіаційного ряду побудуємо багатокутник розподілу (табл. 1). Емпіричну криву розподілу можна розглядати, як деяке наближення до відповідної кривої розподілу випадкових величин, а характеристики ряду розподілу - як наближення до аналогічних характеристик кривої розподілу (рисунок). Ступінь наближення буде зростати по мірі збільшення числа спостережень. Метою даного дослідження є створення математичної моделі розподілу числа комутацій на основі обмеженого числа емпіричних даних.

### 1. Розподіл технологічно обґрунтованої електричної зносостійкості контактів електричних апаратів

Кількість циклів комутації, тис. цикл.	До 10	21-30	31-40	41-50	більше 50
Кількість апаратів	122	197	347	231	103
Відносна кількість апаратів, %	12,2	19,7	34,7	23,1	10,3

Середнє виборочне визначається як середнє арифметичне значення признаку виборочної сукупності:

$$x = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + \dots + m_k \cdot x_k}{\sum m_i} \quad (2)$$

Виборочна дисперсія є середньозваженим із квадратів відхилень варіантів  $x_i$ , їх середнім арифметичним і визначається за наступною формулою:

$$D_e = \frac{\sum((x_i - x)^2 \cdot m_i)}{m_i}, \quad D_e = 231,116 \quad (3)$$

Оцінкою дисперсії є напрямок виборочної дисперсії:

$$\sigma^2 = \frac{n}{n-1} \cdot D_e = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\sum((x_i - x)^2 \cdot m_i)}{m_i} \quad (4)$$

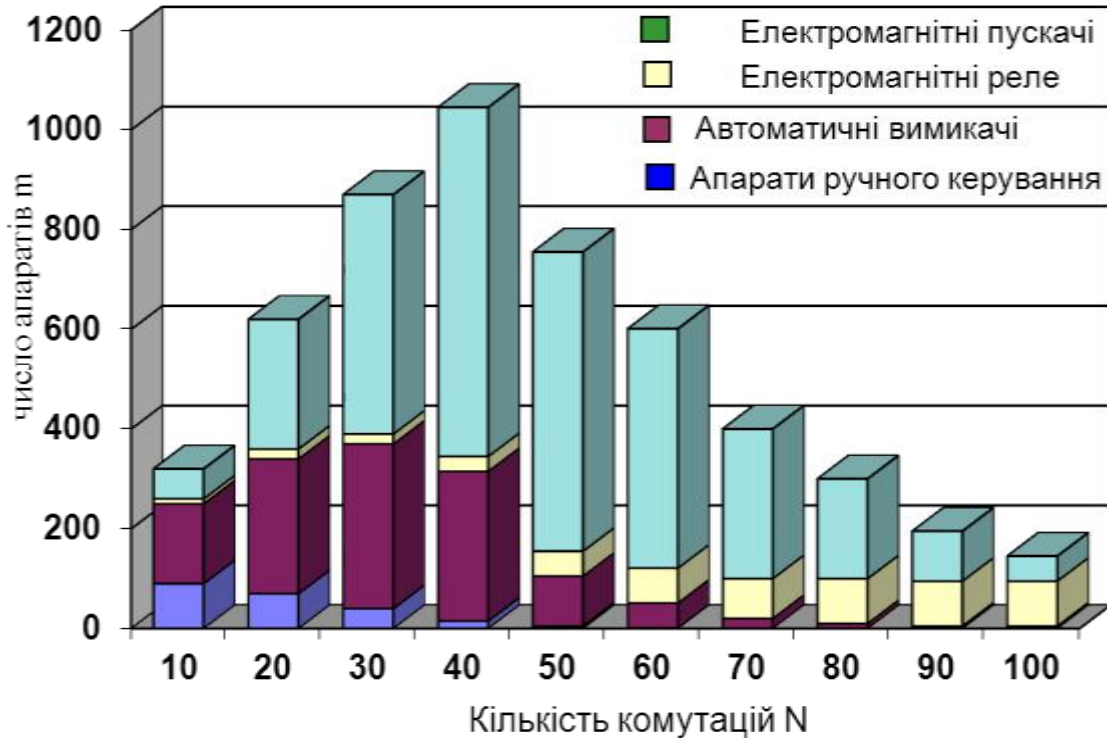


Рис. Розподіл числа апаратів в залежності від частоти комутацій

Величина  $\sigma^2$  називається направленим виборочним середньоквадратичним відхиленням. Результати обчислень:  $n=9899$ ,  $x=34.237$ ,  $\sigma^2 = 15.202$ . Характер розподілу виявляється з допомогою центральних моментів третього порядку  $\mu_3$  і четвертого порядку  $\mu_4$ . Емпіричний момент визначають за наступними формулами:

$$\mu_3 = \frac{\sum((x_i - x)^3 \cdot m_i)}{\sum m_i} \quad (5)$$

$$\mu_4 = \frac{\sum((x_i - x)^4 \cdot m_i)}{\sum m_i} \quad (6)$$

Нормальний момент  $r_3 = \mu_3 / \sigma^2$  - є мірою асиметрії. При  $r_3 > 0$  варіаційний ряд правосторонній, при  $r_3 < 0$  - лівосторонній.

Четвертий нормований момент  $r_4 = \mu_4 / \sigma^2$  називають мірою крутизни. При  $r_4 > 3$  розподіл високовершинний, якщо  $r_4 < 3$  - він низьковершинний, якщо  $r_4 = 3$  розподіл близький до нормального. Для нашого випадку:

$$\mu_3 = 1203, \quad r_3 = 0,342, \quad \mu_4 = 145400, \quad r_4 = 2,721.$$

Значення знайденого моменту розподілу свідчать про те, що емпірична крива має незначний правосторонній нахил та є низьковершинною.

Для математичного опису випадкових величин найбільш часто використовують закон нормального розподілу, який виражається функцією густини розподілу:

$$m'(x) = \frac{n \cdot \Delta x}{\sigma \cdot \sqrt{2} \cdot \pi} \cdot e^{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

Побудову нормального розподілу можна вести по густині ймовірностей, використовуючи функцію нормального стандартизованого розподілу. В цьому випадку для знайдених емпіричних величин  $t$  по таблицях знаходимо  $f(t)$  і множим їх на величину  $(n \cdot \Delta x) / \sigma$ , тобто враховується величина числа спостережень  $n$ , інтервалу подріблення емпіричних даних  $x$  і коливання признаку в імперічній сукупності  $\sigma$ . Одержана величина  $i$  показує теоретичну частоту нормального розподілу даної сукупності. Як видно теоретичний нормальний розподіл в деякій мірі відбиває поведінку розподілу емпіричної сукупності.

Аналіз різниці емпіричних і теоретичних частот вказує також на значне відхилення теоретичної кривої розподілу від емпіричної.

Для описання емпіричної кривої розподілу використовуємо розподіл Грамма-Шарльє, в якому можна врахувати знайдені раніше моменти  $r_3, r_4$ .

Функція розподілу має вигляд:

$$m'(x) = m(x)(1 + (r_3/6) \cdot (t^3 - 3 \cdot t) + (r_4/24) \cdot (t^4 - 6 \cdot t^2 + 3)) \quad (8)$$

де:  $m'(x)$  - нормальний розподіл.

Технологічно обгрунтована електрозносостійкість (N) комутаційного апарату для управління певним технологічним обладнанням визначалась по формулі:

$$N = 10^{-9} \cdot k_t \cdot n_d \cdot n_c \cdot T_d \quad (9)$$

де:  $k_t$  - коефіцієнт, який враховує нерівномірність вмикання комутаційного обладнання ( $k_t = 1,1$ );  $n_d$  - середнє число вмикань-вимикань комутаційного апарату на добу;  $n_c$  - кількість робочих днів на рік;  $T_d$  - строк служби комутаційних апаратів.

Практично для всіх технологічних машин тваринництва нормативний строк служби становить 7 - 10 років, тому 10 - річний строк служби комутаційних апаратів достатній для цього обладнання.

У математичній статистиці близькість емпіричних і теоретичних розподілів оцінюється критерієм узгодження. Критерій Пірсона використовується для оцінки розходження між емпіричними і теоретичними частотами. Він оснований на визначенні величини ( $\chi^2$ ), яка для наших умов виражається формулою:

$$\chi^2 = \sum \frac{(m_i - m_i')^2}{m_i} \quad (10)$$

Чим менше відрізняються емпіричні і теоретичні частоти, тим менша величина критерію  $\chi^2$ . По таблицях розподілу Пірсона можна по прийнятому рівні значимості і числу ступінів свободи даного розподілу знайти критичну точку  $\chi^2(\alpha, k)$ . Якщо  $\chi^2_{\text{спос}} < \chi^2_{\text{кр}}$  то немає підстав відкидати прийняту гіпотезу. Для перевірки того, що емпіричні частоти  $m$  відповідають нормальному

розподілу, приймаєм рівень значимості  $\alpha=0,1$  при ступінях свободи  $k=17-3=14$ . В таблиці 3 дані відхилення в залежності від числа ступінів свободи  $k$ .

## 2. Значення відхилень ( $x$ ) в залежності від числа ступінів свободи ( $k$ )

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
x	2,7	4,6	6,3	7,8	9,2	10,2	12	13,4	14,7	16	17,3	18,5	19,8

Обчислені значення по даних табл. 3 складає  $\chi^2_{\text{спос}} = 146$ , а  $\chi^2_{\text{кр}} = 21,1 < \chi^2_{\text{спос}}$ , звідци випливає, що гіпотеза про підпорядкування частот  $m$  нормальному розподілу відхиляється.

Перевіримо гіпотезу про відповідність теоретичній частоті, які підпорядковані закону розподілення Грама-Шарльє. В цьому випадку по виборці визначались чотири параметри: тому число ступенів свободи  $k=17-5=12$ ;  $\chi^2_{\text{кр}} = 18,5$ ;  $\chi^2_{\text{спос}} = 11,9$ .

Очевидо  $\chi^2_{\text{кр}} > \chi^2_{\text{спос}}$ . В цьому випадку гіпотеза приймається. Прийнята гіпотеза про відповідність спостережень, які розраховані по розподілу Грама-Шарльє приймається з ймовірністю 0,9.

Теоретичний розподіл розрахований в програмному середовищі прикладних програм пакету "MathCad". Теоретичний розподіл числа апаратів в залежності від числа комутацій зображені на рис. 1.

Дослідження показали, що по частоті комутацій електричні апарати можна розділитил на дві групи:

- апарати з рідкими комутаціями;
- апарати з частими комутаціями;

До апаратів з частими комутаціями належать апарати, які працюють в складі автоматизованих систем, де управління ними здійснюється безпосередньо від системи автоматичного регулювання. В більшості технологічних машин використовуються як електромагнітні пускачі, так і автоматичні вимикачі,

управління якими проводиться безпосередньо операторами. Ці апарати відзначаються достатньо невисокою частотою комутацій, яка, як правило, не перевищує 10 вмикань на добу. Враховуючи специфіку сільськогосподарського виробництва необхідно відмітити, що значна частина обладнання працює сезонно, що також не вимагає високої зносостійкості.

### 3. Розподіл кількості апаратів від частоти комутацій

Кіль- кість вми- кань - вими- кань	Число апаратів			Кіль- кість вми- кань - вими- кань	Число апаратів		
	згідно спосте- режень	нормаль- ний розподіл	розподіл Грамма- Шарльє		згідно спосте- режень	нормаль- ний розподіл	розподіл Грамма- Шарльє
5	200	182	180	50	610	676	617
10	390	325	360	55	440	455	439
15	620	519	596	60	305	275	290
20	890	746	843	65	190	149	176
25	1040	962	1039	70	100	72	97
30	1120	1113	1132	75	50	32	47
35	1080	1155	1150	80	20	12	20
40	960	1077	983	85	7	4	8
45	795	900	807				

Враховуючи таку реальну частоту вмикань до апаратів з рідкими комутаціями необхідно віднести апарати з зносостійкістю до 50 тисяч на розрахунковий 10 річний термін експлуатації. Якщо розглядати процентний сегмент таких апаратів, то вони складають переважну більшість.

Застосування контактних апаратів з завищеною зносостійкістю в сільськогосподарському виробництві приводить до того, що їх ресурс використовується далеко не повністю, і в більшості випадків в електричних



апаратах, які вийшли з ладу, залишається значна частина срібно-вмістких матеріалів, збір і регенерація якого практично не організовані. Тому існує можливість досягти значної економії срібла за рахунок розширення асортименту апаратів, які випускаються, що будуть відрізнятися по класу зносостійкості в сторону її обґрунтованого зменшення в порівнянні з апаратами, які випускаються. Крім того, в багатьох станціях управління можна в повній мірі без погіршення параметрів захисту використовувати автоматичні вимикачі з незалежними розчіплювачами та з розчіплювачами мінімальної напруги замість електромагнітних пускачів. Блокування від неправильної послідовності вмикання, нульовий та захист від втрати фази можуть бути забезпечені наявністю в автоматичних вимикачах розчіплювачів мінімальної напруги. Автоматичні вимикачі в цьому випадку повністю забезпечують ресурс по зносостійкості і при цьому досягається економія 9 пар срібно-вмістких контактів досить високої зносостійкості.

#### **Висновки і перспективи.**

1. Доцільно збільшити асортимент комутаційних апаратів, що відрізняються класом електрозносостійкості в сторону її обґрунтованого зменшення.
2. При розробці схем керування технологічним обладнанням слід уникати дублювання комутаційних груп.

#### **Список літератури**

1. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс / Б.В. Клименко. – Харків: ТОЧКА, 2012. – 336 с.
2. Медзинський Б. Експлуатаційні характеристики шаруватого контактного матеріалу Cu—Mo в повітряних АС низковольтних контакторах / Б. Медзинський, П. Войтас, А. Козловський, Д. Восік, А. Гродзинський, М. Хабрич, М. Гречанюк // Електричні контакти і електроди. Збірник наукових публікацій. – 2014. – №12. – С.257-262.

3 Магнітні пускачі ПММ. Каталог продукції ТОВ «Промфактор» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://promfactor.com/uploads/images/Catalog/UA/PMM\\_UA.pdf](http://promfactor.com/uploads/images/Catalog/UA/PMM_UA.pdf).

### References

1. Klimenko, B.V. (2012). Yelektrichni aparati. Yelektromekhanichna aparatura komutatsii, keruvannya ta zakhistu. Zagal'niy kurs [Electric vehicles. Electromechanical switching, control and protection equipment. General course]. Kharkiv: TOCHKA, 336.

2. Medzins'kiy, B., Voytas, P., Kozlovs'kiy, A., Vosik, D., Grodzins'kiy, A., Khabrich, M., Grechanyuk, M. (2014). Yeksplutatsiyni kharakteristiki sharuvatogo kontaktnogo materialu Cu-Mo v povitryanikh AS nizkovol'tnikh kontaktorakh.// Yelektrichni kontakti i yelektrodi. Zbirnik naukovikh publikatsiy [Exploitation characteristics of Cu-Mo layered contact material in air ducts of low-voltage contactors], №1, 257-262.

3 Magnitni puskachi PMM. Katalog produktsii TOV «Promfaktor». Available at: [http://promfactor.com/uploads/images/Catalog/UA/PMM\\_UA.pdf](http://promfactor.com/uploads/images/Catalog/UA/PMM_UA.pdf).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В АГРАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*И.П. Радько, В.А. Наливайко, А.В. Окушко*

**Аннотация.** *Цель исследования - поиск новых путей экономии драгоценных материалов.*

*Представлены результаты исследований частоты коммутаций электрических аппаратов в агропромышленных электроустановках и анализ использования серебросодержащих композиционных материалов с целью их эффективного использования та представлены основные направления, которые будут способствовать этому. Обоснована целесообразность расширения спектра коммутационных аппаратов с разной граничной электроизносостойкостью.*

**Ключевые слова:** *электрический аппарат, композиционные контактные материалы, ресурсосбережение, природные ресурсы*

## INVESTIGATION OF PECULIARITIES OF WORKING CONDITIONS OF ELECTRICAL APPARATUS IN AGRARIAN PRODUCTION.

*I. Radko, V. Nalivayko, O. Okushko*

**Abstract.** *The purpose of the study is to find new ways to save precious materials.*

*The paper presents the results of studies of the frequency of switching of electrical devices in agroindustrial electrical installations and the analysis of the use*

*of silver-containing composite materials for the purpose of their effective use and are presented mainly in the direction that will facilitate this. The expediency of expanding the spectrum of the commutation devices with different boundary electro-wear resistance is substantiated.*

**Key words:** *electric apparatus, composite contact materials, resource saving, natural resources*