УДК 621.3.066.5/6:636 DOI 10.31548/energiya2019.06.027

РАНЖУВАННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА АПАРАТИ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК АПК

В. В. Коробський, кандидат технічних наук, доцент

С. В. Солнишкін, студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: kor.vladlen.2002@gmail.com

Анотація. *У процесі експлуатації електричні апарати знаходяться під різноманітними впливами, які визначаються режимами їх роботи і навколишнім середовищем. При лабораторних дослідженнях електромагнітних пускачів, нових контактних матеріалів урахування впливу всіх факторів і властивостей матеріалів є складною багатосторонньою задачею, вимагає постановки великої кількості експериментів. Тому необхідно мати відомості про п'ять-шість найбільш значущих факторів впливу, які визначають стан пускача при одночасному впливі на пускач декількох десятків експлуатаційних факторів.*

Наведено перелік експлуатаційних факторів впливу, які трапляються при експлуатації апаратів керування і захисту, що використовуються в електроустановках агропромислового комплексу. Проведено класифікацію вказаних експлуатаційних факторів, а також вказані основні параметри надійності електромагнітних пускачів. Здійснено аналіз дослідження надійності систем і апаратів, в якому можна виділити дві тенденції: перша ґрунтується на вивченні статистичних, сугубо ймовірнісних характеристик закономірностей появи несправностей і відмов при експлуатації; друга - на вивченні детерміністичного підходу до фізичної теорії надійності апаратів і встановлює закономірності протікання фізико-хімічних процесів в них.

Визначення надійності апаратів проводиться із застосуванням загальнотеоретичних методів (розрахункового, розрахунково-експериментального, експериментального), та інженерних методів розрахунку надійності, які використовують довідкові дані та дані експлуатації.

Зазначається, що основними показниками надійності пускачів є показники безвідмовності, довговічності, збереженості та ремонто-придатності.

Ключові слова: ***рангова кореляція, електромагнітний пускач, експлуатаційні фактори, контактна система, контактний матеріал, контакт-деталь, надійність, показники надійності, комутаційна зносостійкість, надійність контактування, стійкість проти зварювання, контактний натиск***

Актуальність. При аналізі фундаментальних праць з надійності (автори Бруєвич Н. Г., Сифоров В .І., Гнеденко В. Б., Базовський І., Дружинін Г. В., Шор Я. Б.) можна простежити дві основні тенденції дослідження надійності систем і апаратів. Перша тенденція базується на вивченні статистичних, сугубо ймовірнісних характеристик закономірностей появи несправностей і відмов при експлуатації або під час спеціальних досліджень. Друга тенденція ґрунтується на вивченні детерміністичного підходу до фізичної теорії надійності апаратів і встановлює закономірності протікання фізико-хімічних процесів в них, зв'язок механіко-фізичних параметрів, умов експлуатації, навантаження з показниками надійності за результатами досліджень і вивчення механізмів відмов [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення надійності електричних контактів комутаційних апаратів є предметом досліджень багатьох авторів [4, 5]. Особливо плідно над цією проблемою працював Сотсков Б. С., який акцентував увагу на визначенні показників надійності електричних контактів.

Проблеми і аспекти фізичної природи зношування, процесу старіння електричних комутаційних апаратів та вплив окремих факторів на їх працездатність, особливо слабко токових контактів розвинули Декабрун І. Е., Штремберг Т. К., Кузнецов Р.С.

Як відомо з багатьох джерел, в яких розглядаються електричні апарати та питання їх надійності, найбільша кількість відмов низьковольтної апаратури спостерігається в комутуючих пристроях (контактній системі) – 60 %, у механізмі керування (електромагнітних котушках) – 27 – 20 %, в механічній системі – 13 – 20 % [5, 7].

Мета дослідження – провести класифікацію факторів впливу на електричний апарат та визначити найбільш значущі експлуатаційні фактори, які впливають на параметри надійності електромагнітного пускача (комутаційну зносостійкість, надійність контактування, стійкість проти зварювання), що забезпечить пошук і розробку пускачів, які б мали підвищені показники надійності P(t), $T_{слγ}$, за рахунок деякого зниження показників $T_{ργк}$, $T_к$, $T_м$.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження показників надійності проводилися на серійних пускачах типів ПМЕ, ПМА, ПМЛ, ПММ (1 і 2 величин). Згідно вимог нормативних документів визначення надійності комутаційних апаратів проводиться із застосуванням таких загальнотеоретичних методів: розрахункового (з використанням в основному довідкових даних); розрахунково-експериментального; експериментального. Крім цих методів визначення надійності застосовуються спрощені інженерні методи розрахунку надійності, які використовують довідкові дані і дані експлуатації, коефіцієнтний метод (ґрунтується на використанні відносних коефіцієнтів надійності), метод розрахунку за середньо груповими значеннями інтенсивності відмов.

Класифікацію незначимих і значимих факторів впливу здійснено методом рангової кореляції із застосуванням коефіцієнта конкордації w (за Кендалом), значущість якого оцінювалася за критерієм «χ^2». Визначення середніх і екстремальних значень факторів впливу проводиться на основі аналізу експлуатаційних даних за допомогою методів математичної статистики.

Результати досліджень та їх обговорення. Показники надійності вибираються для будь-якого одного виду апарату залежно від конкретних задач, які вирішуються. Наслідком цього є велика різноманітність показників надійності, які вказані в нормативних документах на конкретний апарат і відсутність єдиного підходу до їхнього вибору (табл. 1).

Враховуючи те, що головним елементом конструкції електричних комутаційних апаратів (пускачів) є комутуючий пристрій (контактна система), а всі інші елементи і вузли пускача відіграють в основному підрядну функцію, то за основні показники надійності пускача можна прийняти показники надійності контактної системи.

Для найпоширеніших пускачів серій ПМЕ, ПМА, ПМЛ, ПММ, які експлуатуються в аграрному секторі України, встановлені нормовані показники надійності (табл. 2).

Параметром, який характеризує працездатність контактів в експлуатації протягом тривалого часу, є допустима температура. На допустимі перевищення

температури контактів пускачів розроблені відповідні вітчизняні і закордонні стандарти.

1. Номенклатура загальних показників безвідмовності і довговічності для апаратів розподілу і керування

Вид апарату низької напруги	Виконувана апаратом функція		
	операції комутації (увімкнення, вимкнення)	тривалий режим роботи під струмом	збереження працездатного стану протягом часу між увімкненням і вимкненням
Контактори, командоапарати, реостати, рубильники, пакетні вимикачі	$P_к(t)$, $P_м(t)$ $T_{рук}$, $T_{рум}$	$P_д(t)$ $T_{руд}$	-
Автоматичні вимикачі	$P_к(t)$, $P_м(t)$ $T_{рук}$, $T_{рум}$	$P_д(t)$ $T_{руд}$	$P_i(к)$
Запобіжники	-	$P_д(t)$	$P_i(к)$
Пускачі	$P_к(t)$, $P_м(t)$ $T_{рук}$, $T_{рум}$	$P_д(t)$ $T_{руд}$	$P^*_1(к)$
Пускорегулвальні, регулювальні, навантажувальні реостати	$P_к(t)$, $P_м(t)$ $T_{рук}$, $T_{рум}$	$P_д(t)$ $T_{руд}$	-
Пускові реостати	$P_к(t)$, $P_м(t)$ $T_{рук}$, $T_{рум}$	-	-

Примітка. * Оскільки пускачі призначені для виконання тільки однієї захисної функції, то $P^*_1(к)$ - ймовірність безвідмовної роботи в режимі захисту двигуна від перевантаження і “втрати фази”.

2. Нормовані показники надійності електромагнітних пускачів, які експлуатуються в електроустановках тваринництва

Тип електро-магнітного пускача	П О К А З Н И К И										Нормативно-технічний документ
	γ-відсотковий ресурс за комутаційну зносостійкість, Тр %, при γ=90%	γ-відсотковий ресурс за механічну зносостійкість, Тр %, при γ=90%	комутаційна зносостійкість контактів головного кола, $T_к$, млн. циклів			механічна зносостійкість контактів головного кола, $T_м$, млн. циклів		γ-відсотко-вий термін збереженості $T_{збγ}$% при γ=90%, роки	γ-відсотко-вий термін служби, $T_{сл\,γ}$% при γ=90%, роки	середній час відно-влення, год.	
			А	Б	В	А, Б	В				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ПМЕ	5000 год.	-	2,0	1,0	0,3	5,0		2,0	-	≤ 0,5	ТУ206.У. 09.015-92
2. ПМА-0000	$T_к$	$T_м$	2,0	1,0	0,3	16	10	-	16	-	ТУ16-644.016-86
3. ПМА-3000÷ 6000	$T_к$	$T_м$	2,5-2,0	1,0-0,7	0,3	16-10 16-5,0	8,0-5,0	-	16	-	ТУ16-644.005-84
4. ПМЛ	0,85 $T_к$	0,85 $T_м$	4,0-2,0	1,5-1,0	0,3	20-16	8,0	2,0	15	-	ТУ16-91 ИГЕВ.64.4 131.001ТУ
5. ПАЕ	-	-	2,0			6,0		-	6,0	-	ТУ16-538.400-83
6. П6-100	0,8 $T_к$	0,8 $T_м$	3,0			16		3,0	10	-	ТУ16-644.006-84
7. ПМТ-1000; ПММ-1000	-	-	2,0			10		-	12	-	ТУ16-536.360-83Е

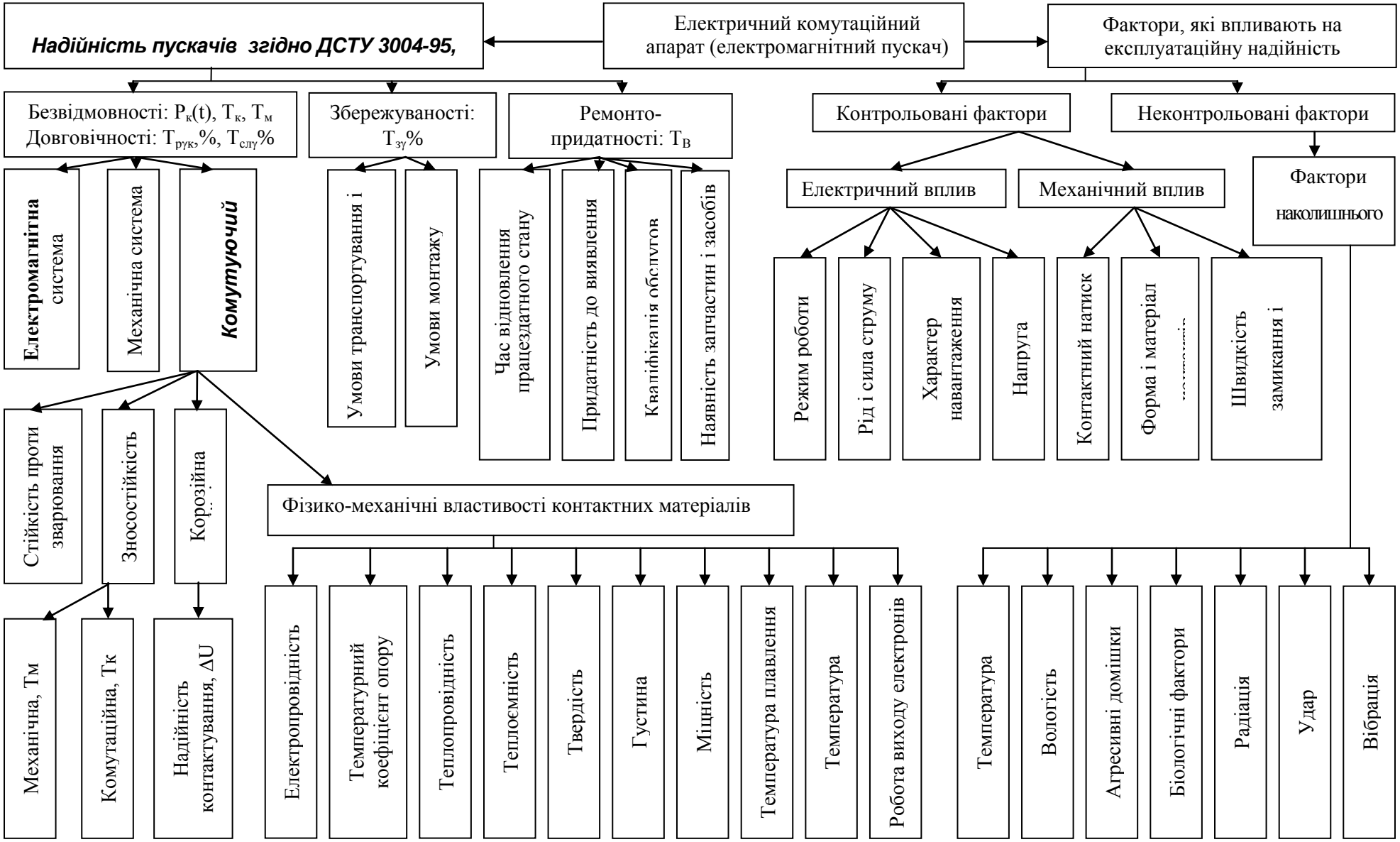

Рис. 1. Класифікація факторів впливу і показників надійності електромагнітного пускача

5. Рангова кореляція факторів впливу на контактну систему пускача

№ з/п	Параметр	Комутаційна зносостійкість			Надійність контактування			Стійкість проти зварювання			Позначення і розрахункові формули
	Фактор	$\sum_{j=1}^{m} a_{ij}$	d	d^2	$\sum_{j=1}^{m} a_{ij}$	d	d^2	$\sum_{j=1}^{m} a_{ij}$	d	d^2	
1	U	**49**	-16	256	**77**	12	144	**46**	-19	361	$\sum_{j=1}^{m} a_{ij}$ - сума рангів по кожному фактору; $T = \frac{\sum_{i}^{m}\sum_{j}^{m} a_{ij}}{n}$ - середня сума рангів; $d = \sum_{i=1}^{n} a_{ij} - T$ - відхилення суми рангів від середньої суми; $\hat{w} = \frac{12\sum d^2}{m^2\left(n^3 - n\right)}$ - коефіцієнт конкордації (по Кендалу); $\chi_p^2 = m(n-1)\hat{w}$ - розрахунковий критерій значущості коефіцієнта $\hat{w}$; $\left(\chi_т^2\right)_{0,05;12} = 4.58$ [1].
2	I	**15**	-50	2500	**44**	-21	441	**14**	-51	2601	
3	cos φ	**45**	-20	400	**80**	15	225	**43**	-22	484	
4	S	**63**	-2	4	**81**	16	256	**72**	7	49	
5	V_I	**40**	-25	625	**85**	20	400	**61**	-4	16	
6	$P_{кон}$	**73**	8	64	**57**	-8	64	**66**	1	1	
7	$M_{кон}$	**37**	-28	784	**25**	-40	1600	**28**	-37	1369	
8	$K_{кон}$	**82**	17	289	**85**	20	400	**77**	12	144	
9	$V_{кон}$	**77**	12	144	**89**	24	576	**83**	18	324	
10	G_1	**91**	26	676	**33**	-32	1024	**88**	23	529	
11	G_2	**93**	28	784	**25**	-40	1600	**91**	26	676	
12	M	**113**	48	2304	**99**	34	1156	**111**	46	2116	
$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} a_{ij}$		**780**			**780**			**780**			
T		65			65			65			
$\sum d^2$		8830			7886			8670			
$\hat{w}$		0,62			0,55			0,61			
χ^2_p		67,9			60,7			66,7			

Для слабкострумових контактів важливим параметром є спад напруги на контактах, за умовою, що допустимий спад напруги $\Delta U_{к.доп.}$ повинен бути менше напруги розм'якшення матеріалу $\Delta U_{розм}$: $\Delta U_{к.доп.}=(0,5\ldots0,8)\cdot\Delta U_{розм.}$.

Вплив навколишнього середовища може викликати значне збільшення перехідного контактного опору, тому основоположники теорії електричних контактів Хольм Р., Мерл В., Таєв І. С., Сотсков Б. С. та інші, вважають основною характеристикою, яка визначає надійність електричних контактів, є саме перехідний контактний опір $R_{пер}$.

На практиці, в умовах експлуатації, перехідний опір визначають, пропускаючи через замкнені контакти апарату постійний струм при напрузі 2÷5 В і вимірюючи при цьому спад напруги на них. Для пускачів з $I_{ном}$< 50А, ΔU не повинно перевищувати 70 мВ, а з $I_{ном}\geq$ 50А - ΔU < 110 мВ. Допустиме граничне значення спаду напруги на контактах контакторів, яке прийняте в технічних умовах для оцінки працездатності контактів, дорівнює для срібла 90 мВ, але для умов експлуатації цю величину рекомендовано збільшувати. Це справедливо для електричних контактів як елементу системи комутаційного апарату, але опір не є основною достатньою характеристикою для прогнозування надійності всього електромагнітного пускача.

Відмови електромагнітних пускачів, в основному, виникають при вимкненні струмів коротких замикань та при перевантаженнях. Стійкість контактного матеріалу тепловому зварюванню при відключенні аварійних струмів є одним із трьох основних параметрів нормальної роботи пускача.

Виходячи із наведених положень, основними критеріями надійності контактної системи пускача будемо вважати такі параметри: комутаційну зносостійкість (характеризується електроерозійним зносом), надійність контактування (контактний перехідний опір $R_{пер}$), а в цілому для пускачів - середній термін служби $T_{сл}$.

Тому, необхідно було провести класифікацію експлуатаційних факторів впливу та узгодити їх з основними показниками надійності пускачів.

Аналізуючи різні фактори впливу на комутаційний апарат, автори допускають, що відмови виникають [3, 7]:

- - за рахунок недоліків при конструюванні – 36 %;
- - в процесі експлуатації – 36 %;
- - за рахунок ненадійності елементів апарату – 28 %.

У процесі експлуатації електрообладнання (автоматичні вимикачі, електромагнітні пускачі, апаратура керування) може підлягати різноманітним впливам, які визначаються режимами їх роботи і навколишнім середовищем. Діапазон зміни факторів впливу дуже широкий, а сполучення їх зустрічається в самих різноманітних комбінаціях. Тому в процесі експлуатації необхідно мати відомості про п’ять-шість найбільш значимих факторів, параметрів, які визначають стан пускача при одночасному впливі декількох десятків експлуатаційних факторів.

Наявність в навколишньому середовищі хімічно-активних домішок, підвищена вологість і температура безпосередньо впливають на корозійну стійкість контактної системи, яка визначається хімічними властивостями (в першу чергу електродним потенціалом) кожного контактного елементу. Електричні апарати та їх контактні системи при експлуатації, а також під час зберігання піддаються впливу ряду об’єктивних факторів, які можливо розділити на контрольовані (заданий режим роботи пускача S або робочої машини) і неконтрольовані (умови експлуатації пускача G_1, G_2).

До контрольованих факторів належать механічні впливи, які визначаються конструкторськими і технологічними особливостями контактної системи пускача: контактний тиск $P_{кон}$, швидкість сходження і розходження контактів $V_{кон}$, конструкція (геометрія) робочих поверхонь контактів $К_{кон}$, матеріал контактів М. Електричні впливи обумовлені призначенням пускача і характеризуються силою I і родом V_i струму, робочою напругою U, характером навантаження cosφ (табл. 3).

Контактний натиск, у значній мірі, впливає практично на всі параметри контактної системи пускача. Збільшення натиску знижує перехідний опір, але при цьому в процесі роботи збільшується механічне зношування контактів; при зменшенні контактного натиску зношування зменшується, але зростає перехідний опір, що може призвести до порушення контактування, а при комутаціях струмів величиною 5 – 25 А і до виникнення дугового розряду на контактах. Контактний

натиск контактів пускача, як правило, здійснюється за допомогою пружинних елементів, які розміщуються в траверсах пускачів.

3. Класифікація факторів впливу на параметри надійності пускача

Параметр	Головні фактори	Суттєві фактори	Несуттєві фактори
Комутаційна зносостійкість	I, $M_{кон}$	V_1, cosφ, U, S, $P_{кон}$,	$V_{кон}$, $K_{кон}$, G_1, G_2, M
Надійність контактування	$M_{кон}$, G_2, G_1, I	$P_{кон}$, U, cosφ, S, V_1	$K_{кон}$, $V_{кон}$ M
Стійкість проти зварювання	I, $M_к$	cosφ, U, V_1, $P_{кон}$, S	$K_{кон}$, $V_{кон}$, G_1, G_2, M
Комплекс трьох параметрів	I, $M_{кон}G_2$, G_1,	cosφ, $P_{кон}$, U, V_1, S	$K_{кон}$, $V_{кон}$ M

Конструкція робочих поверхонь - фактор, який впливає на зносостійкість матеріалів. Контакти повинні мати необхідну форму, що забезпечувала б оптимальну кількість циклів приробітку без порушення контактування і зменшувала час горіння дуги.

Основним фактором електричного впливу на контактну систему є сила струму. При роботі контактів в колах з невеликим значенням струму (блок-контакти, контакти теплового реле, контакти головного кола пускача для керування невеликим навантаженням) перехідний опір характеризується довільною зміною в часі, що обумовлюється, головним чином, процесами утворення поверхневих плівок. Тому забезпечити надійну роботу контактів для кіл невеликого струмового навантаження можливо тільки створенням умов, при яких плівки руйнуються механічно при значних контактних тисках і підбором корозійностійких матеріалів.

Неконтрольовані експлуатаційні фактори поділяються на фактори механічного впливу і вплив навколишнього середовища.

До механічних факторів відносяться вібраційні, ударні навантаження.

Підвищена вологість створює в першу чергу негативний вплив на перехідний опір. На робочих поверхнях контактів завжди у повітряному середовищі є плівка адсорбованої вологи. Товщина і забрудненість цієї плівки визначає ступінь впливу її

на порушення контактування. Інтенсивне окислення (яке дуже характерне для підвищеної температури) призводить до зниження зносостійкості контактних матеріалів.

Домішки в повітрі (аерозолі, розчини дезинфікуючих засобів) небезпечні для незахищеного і відритого виконання пускачів. Пил складається з мінеральних і органічних частинок розміром від 0,1 до 20 мкм. Коли вони попадають на контактні поверхні, то викликає посилений розвиток корозії внаслідок затримання вологи. Коли в оточуючому середовищі присутні хімічно-активні домішки (H_2S, NH_3, CO_2, SO_2 тощо), контактні матеріали електромагнітних пускачів темніють, що призводить до порушення контактування. Головними забруднювачами для срібловмістких контактів є сірководень, аміак, кисень. Реальна поверхня срібла містить Ag_2S, Ag_2O.

Вплив іонізуючих випромінювань на електромагнітні пускачі не має дуже важливого значення. Підвищені дози опромінення сприяють зменшенню корозійної стійкості контактних матеріалів.

Як бачимо, на нормальну роботу пускача суттєво впливають дуже багато експлуатаційних факторів, тому було б доцільно виявити значимість факторів, ступінь їх впливу на параметри пускача і контактної системи. Одним із ефективних методів відсіювання незначимих і виділення значимих факторів є їх ранжування (розміщення по порядку зменшення важливості) [5], суть якого ґрунтується на оцінці спеціалістами-експертами ступені впливу кожного фактору на конкретний параметр.

У результаті аналізу та класифікації ми визначили ряд факторів (n=12), які найсуттєвіше впливають на згадані вище параметри надійності електромагнітних пускачів. На основі аналізу експлуатаційних даних визначено середні і екстремальні значення факторів, які наведено в табл. 4.

4. Фактори рангової кореляції електромагнітних пускачів

№ з/п	Символ фактора	Найменування фактора	Розмірність, інтервал варіювання
1	U	напруга	0…380 В
2	I	сила струму	0…25 А
3	cos φ	характер навантаження	0,35…1,0
4	S	режим роботи (комутації)	тривалий; переривчасто-тривалий повторно-короткотривалий
5	V_I	рід струму	змінний, постійний
6	$P_{кон}$	контактний натиск	50…250 н
7	$M_{кон}$	матеріал контактів	на основі ag і cu
8	$K_{кон}$	конструкція робочих поверхонь контакт-деталей	площина, напівсфера
9	$V_{кон}$	швидкість замикання і розмикання контактів	0,25…1,35 м/с
10	G_1	стан навколишнього середовища (температура, атмосферний тиск, вологість)	t= 5…35 ^{o}c; w=45…100%; p= 0,5…1,5 атм.
11	G_2	стан наколишнього середовища (хімічно-активні домішки)	φ=0…38 мг/м^3 (NH_3); φ=0…35 мг/м^3 (H_2S); φ=0…0,4 % (CO_2)
12	M	механічні впливи	удар, вібрація, прискорення

До дієвих факторів входять фактори електричного впливу (напруга, сила струму, рід струму, характер навантаження, режим роботи), фактори механічного впливу (контактний натиск, швидкість замикання і розмикання контактів, матеріал контактів), а також фактори кліматичного впливу.

Ранжування факторів за кожним визначальним параметром надійності проводиться з урахуванням літературних даних [6, 7] на основі опитувальних анкет, які заповнюються експертами-спеціалістами в галузі експлуатації електрообладнання і дослідження електричних контактів (кількість експертів m=10). Узгодженість оцінок і думок експертів оцінювалася коефіцієнтом конкордації: $0 \le w \le 1$; коли w = 0, то це констатує відсутність будь-якої злагоди (узгодженості) в оцінках експертів; коли w = 1, - говорить про повну злагоду [1]. Значущість коефіцієнта w оцінювалася за критерієм «χ^2». Гіпотеза про наявність згоди не спростовується (підтверджується) при вибраному рівні значущості α = 0,05, якщо

розрахункове значення $\chi^2_р$ більше табличного ($\chi^2_т$ = 4,58 при α = 0,05 і числу ступенів свободи f = n - 1 = 11).

Результати обробки даних анкет і розрахунків коефіцієнтів конкордації наведено в табл. 5. Враховуючи те, що для всіх розглянутих випадків ранжування факторів $\chi^2_р > \chi^2_т$ (при α = 0,05 і f = 11), то доведено значущість коефіцієнтів конкордації, тобто має місце хороша узгодженість. Чим більша сума рангів фактора $\sum_{j=1}^{m} a_{ij}$, тим менш він суттєвий (табл. 5). Дані ранжування факторів можна інтерпретувати графічно у вигляді діаграми рангів. Діаграму рангів кожного показника надійності розміщують ступенево по мірі зменшення значущості факторів (наприклад, для комутаційної зносостійкості – рис. 2).

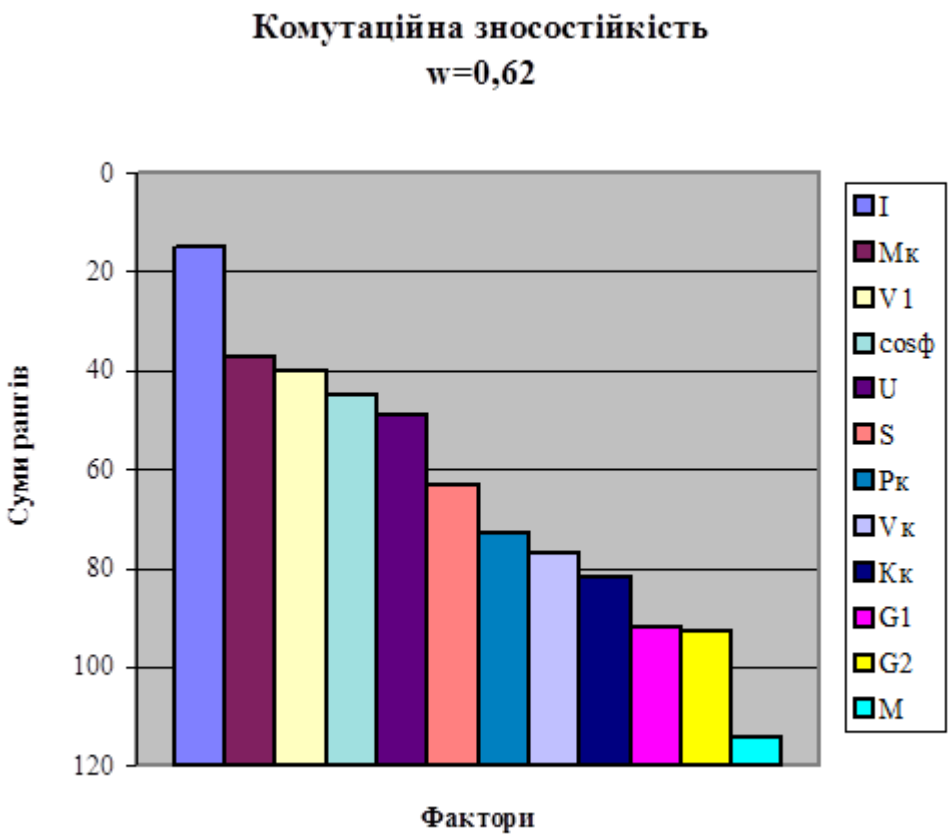

Рис. 2. Діаграма рангової кореляції факторів впливу на комутаційну зносостійкость пускачів

Висновки і перспективи.

1. Фактори, які впливають на показник надійності окремо і на працездатність контактної системи пускача в цілому, можна розділити на три основні групи: головні, суттєві і несуттєві.

2. Застосований метод апріорної рангової кореляції факторів впливу на параметри надійності пускача дозволяє при відпрацюванні методики дослідження пускачів виділити фактори впливу: силу струму (для комутаційної зносостійкості сума рангів -15), наявність агресивного середовища (для надійність контактування сума рангів -25) і силу струму та матеріал контактів (для стійкості проти зварювання, сума рангів -15, 28) як головні фактори, що визначають надійність електромагнітних пускачів.

3. Результати ранжування дають підстави цілеспрямовано вести пошук і розробку пускачів, які б мали підвищені показники надійності P(t), $T_{слγ}$, за рахунок деякого зниження показників $T_{рγк}$, $T_к$, $T_м$.

Список літератури

1. Зедгинидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г.Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 396 с.

2. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г. В.Дружинин. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 480 с.

3. 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.

4. Mano K. The measuring method of the life reliability of electrical contacts / K.Mano // Eiectrical Contacts. - Chicago, 1970. - P. 101-108.

5. Рыбин Г.Я. Надежность контактов электромагнитных реле по материалам эксплуатации / Г. Я. Рыбин // Электрические контакты. – М.: Энергия, 1967. – С. 500–508.

6. Сырых Н. Н. Эксплуатация сельских электроустановок / Н. Н. Сырых. – М.: Агропромиздат, 1986. – 225 с.

7. Таран В. П. Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве / В. П.Таран. – М.: Колос, 1975. – 304 с.

References

1. Zedhynydze, Y. H. (1976) Planyrovanye eksperymenta dlia yssledovanyia mnohokomponentnykh system [Planning an experiment to study multicomponent systems]. Moscow, Nauka, 396.

2. Druzhynyn, H. V. (1983). Nadezhnost avtomatyzyrovannykh proyzvodstvennykh system [Reliability of automated manufacturing systems]. - 4-e yzd., pererab. y dop. – Moscow, Enerhoatomyzdat, 480.

3. Klimenko, B. V., Kochanovskiy, V. O. (2011). Ohliad ta perspektyvy rozvytku materialiv dlia kontaktiv elektromekhanichnykh aparativ nyzkoi napruhy. [Review and prospects of materials development for contacts of electromechanical devices of low voltage]. Electrical engineering and electromechanics, 4, 34 – 40.

4 Mano, K. (1970). The measuring method of the life reliability of electrical contacts. *Eiectrical Contacts.* Chicago, 101 – 108.

5. Rybin, H. Ia. (1967). Nadiinist kontaktiv elektromahnitnykh rele za materialamy ekspluatatsii [Reliability of contacts of electromagnetic relays based on exploitation materials] Elektrychni kontakty, Moscow, Enerhiia, 500 – 508.

6. Syrykh, M. M. (1986). Ekspluatatsiia silskykh elektroustanovok [Exploitation of rural electrical installations], Moscow, Ahropromyzdat, 225.

7. Taran, V. P. (1975). Tekhnichne obsluhovuvannia elektroobladnannia v silskomu hospodarstvi [Technical maintenance of electrical equipment in agriculture], Moscow, Kolos, 304.

РАНЖИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК АПК

В. В. Коробский, С. В. Солнышкин

Аннотация. *В процессе эксплуатации электрические аппараты находятся под различными влияниями, которые определяются режимами их работы и окружающей средой. При лабораторных исследованиях электромагнитных пускателей, новых контактных материалов учет влияния всех факторов и свойств является сложной многосторонней задачей, требует постановки большого количества экспериментов. Поэтому необходимо иметь сведения о пяти-шести наиболее значимых факторов влияния, которые определяют состояние пускателя при одновременном воздействии на пускатель нескольких десятков эксплуатационных факторов.*

Приведен перечень эксплуатационных факторов влияния, которые встречаются при эксплуатации аппаратов управления и защиты, используемых в электроустановках агропромышленного комплекса. Проведена классификация указанных эксплуатационных факторов, а также указаны основные параметры надежности электромагнитных пускателей. Осуществлен анализ исследования надежности систем и аппаратов, в котором можно выделить две тенденции: первая основывается на изучении статистических, только вероятностных характеристик закономерностей появления неисправностей и отказов при эксплуатации; вторая - на изучении детерминированного подхода к физической

теории надежности аппаратов и устанавливает закономерности протекания физико-химических процессов в них.

Определение надежности аппаратов проводится с применением общетеоретических методов (расчетного, расчетно-экспериментального, экспериментального) и инженерных методов расчета надежности, которые используют справочные данные и данные эксплуатации.

Отмечается, что основными показателями надежности пускателей являются показатели безотказности, долговечности, сохранности и ремонтопригодности.

Ключевые слова: ***ранговая корреляция, электромагнитный пускатель, эксплуатационные факторы, контактная система, контактный материал, контакт-деталь, надежность, показатели надежности, коммутационная износостойкость, надежность контактирования, устойчивость против сваривания, контактное нажатие***

RANKING FACTORS OF INFLUENCE ON MANAGEMENT AND PROTECTION DEVICES OF AGRICULTURAL INSTALLATIONS

V. Korobsky, S. Solnyshkin

Abstract. *During operation, electrical devices are under various influences, which are determined by the modes of their operation and the environment. In laboratory studies of electromagnetic starters, new contact materials, taking into account the influence of all factors and properties is a complex multilateral task, requiring a large number of experiments. Therefore, it is necessary to have information about the five or six most significant influence factors that determine the condition of the starter while simultaneously affecting the starter several tens of operational factors.*

The list of operational influence factors that are encountered during the operation of control and protection devices used in electrical installations of the agro-industrial complex is given. The classification of the specified operational factors is carried out, as well as the main reliability parameters of the electromagnetic starters are indicated. An analysis of the study of the reliability of systems and devices was carried out, in which two trends can be distinguished: the first is based on the study of statistical, only probabilistic characteristics of the patterns of occurrence of malfunctions and failures during operation; the second is to study the deterministic approach to the physical theory of the reliability of apparatuses and establishes the laws governing the flow of physicochemical processes in them.

The reliability of devices is determined using general theoretical methods (calculation, calculation, experimental, experimental) and engineering methods for calculating reliability, which use reference data and operation data.

It is noted that the main indicators of the reliability of starters are indicators of reliability, durability, safety and maintainability.

Key words: ***rank correlation, electromagnetic starter, operational factors, contact system, contact material, contact part, reliability, reliability indicators, switching wear resistance, contact reliability, resistance to welding, contact pressing***