

alternativny, cheaper and more energy-efficient way of clearing is not harmful to the environment.

Reliability of power supply, clearing the buffer zone, the route of transmission lines, forest reserve areas, biotech activities, artichoke.

УДК 621.316.1

АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ВЕЛИЧИН СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «ELPLEK»

***О.В. Гай, кандидат технічних наук
С.О. Діденко, студент***

Проведено обґрунтування доцільності застосування автоматизованого розрахунку аварійних режимів електричних мереж середнього класу напруги. Наведено приклади та поставлено завдання подальших досліджень.

Система електропостачання, автоматизований програмний продукт, струми короткого замикання.

У рамках науково-практичної діяльності фахівців у сфері електроенергетики доволі часто виникає необхідність у розрахунку величин струмів короткого замикання в електричних мережах різного рівня напруги. Розглянемо один із варіантів автоматизованого розрахунку в програмному забезпеченні «Elplek». Автором програми є Ilkka Leikkonen (Kokkola, Finland). Зі слів автора: "Elplek is the result of some discussions that I once had with a big company. Their idea was to have a tool, or a program that shows what happens when there is a fault in a network. The program should answer the question: if there is a fault in a given position in the network, which relay will react first, which next, and so on?" [1]. ("Elplek – це результат однієї моєї дискусії з дуже великою компанією. Ідея була в тому, щоб мати такий інструмент або програму, яка б показувала, що трапляється при аваріях в енергосистемі. Програма повинна була відповісти на питання: якщо відбудеться пошкодження на ділянці мережі, яке реле спрацює першим, яке другим і т.д.").

Мета досліджень – аналіз доцільності використання автоматизованих методів розрахунку для визначення аварійних параметрів режиму в системах електропостачання та формування завдань подальших досліджень.

Матеріали та методика досліджень. «Elplek» – це одна з кращих безкоштовних програм, призначених для розрахунків всіх видів струмів короткого замикання (трифазний, міжлінійний, замикання на землю, між-

лінійне замикання на землю), для знаходження залишкових напруг у мережі, а також для симуляції дій пристроїв релейного захисту.

Крім того, Elplek можна використовувати для розрахунків поточкорозподілу потужності в мережі. Розрахунки для знаходження струмів коротких замикань можна виконувати, кількома методами, а саме – методом накладання (метод суперпозиції) або згідно зі стандартом IEC-60909.

Але при розрахунку відповідно до стандарту IEC-60909 у програмі є деяке незначне обмеження. Це обмеження пов'язано з тим, що струм усталеного стану I_k'' , як функція часу не розраховується, а отже, для проведення такого розрахунку потрібно використовувати метод суперпозиції.

Доаварійний стан для методу суперпозиції може бути отримано з розрахунку витрат навантаження або з прямого рішення в мережі. Якщо початковий стан розраховується за допомогою методу суперпозиції, то струми розраховуються як функція часу після виникнення пошкодження в мережі. Крім того, відображається активація релейного захисту.

До переваг програмного забезпечення належать:

- простота у використанні і зрозумілий інтерфейс;
- отримання результатів щодо початкових струмів короткого замикання методом суперпозиції або відповідно до стандарту IEC-60909;
- розрахунок струмів короткого замикання як функції часу;
- відображення активації реле максимального струмового захисту та дистанційних реле (у стандарті IEC-60909 відсутнє);
- є можливості використання різних захисних реле: з незалежною витримкою часу, зі зворотним часом, PQG реле максимального струмового захисту та інших реле;
- присутність кілька десятків MC3 кривих реле, запрограмованих у IEC, ANSI (ABB, Westinghouse, English Electric і т.д.);
- відображення фазових струмів та напруг.

Зазначимо, що Elplek має широкий діапазон застосовування. У цій статті програма буде використовуватися для знаходження трифазних струмів короткого замикання та ударних струмів. Для більш наочного ознайомлення з можливостями програми «Elplek» розглянемо задачу [2], яка містить всі необхідні дані та розв'язки.

Умовою завдання є обчислення значення струмів при трифазному КЗ для точки K_1 , а потім – у точці K_2 СЕП, електрична схема та параметри якої зображено на рис. 1, а, схема заміщення – на рис.1, б. Електроустановки напругою 0,4 кВ живляться через струмовід типу ШМА73.

Результати розрахунку такі.

Початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ у точці K_1 :

$$I_{II,t=0,K1} = 0,4 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 15,6) = 14,8 \text{ кА.}$$

Ударний струм КЗ у точці K_1 :

$$i_{y,K1} = \sqrt{2} \cdot I_{II,t=0,K1} [1 + \exp(-0,04/T_{a,K1})] = \sqrt{2} \cdot 14,8 [1 + \exp(-0,04/0,0033)] = 21 \text{ кА,}$$

де $T_{a,K1} = 11,2 / (\sqrt{3} \cdot 314 \cdot 10,8) = 0,0033 \text{ с.}$

Початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ у точці K_2 :

$$I_{\Pi, t=0, K_2} = 0,4 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot 23,53) = 9,83 \text{ кА.}$$

Ударний струм КЗ у точці K_2 :

$$i_{y, K_2} = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi, t=0, K_2} [1 + \exp(-0,04 / T_{a, K_2})] = \sqrt{2} \cdot 9,83 [1 + \exp(-0,04 / 0,0023)] = 14,1 \text{ кА,}$$

$$\text{де } T_{a, K_2} = 11,2 / (\sqrt{3} \cdot 314 \cdot 18,98) = 0,0023 \text{ с.}$$

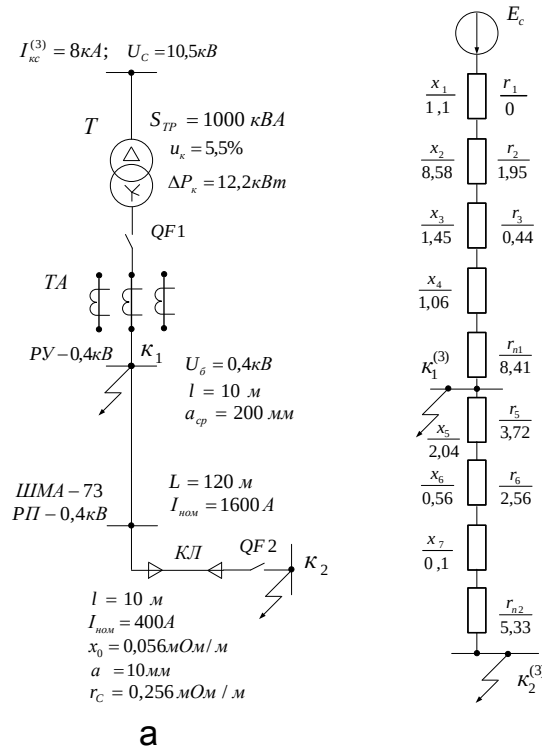


Рис. 1. Електрична схема (а) та схема заміщення (б) тестової системи електропостачання

Після того, коли ми розглянули задачу, перейдемо до самого програмного забезпечення і вирішимо цю ж задачу, але перед тим як приступити до її вирішення ознайомимось з методикою побудови схем у програмі.

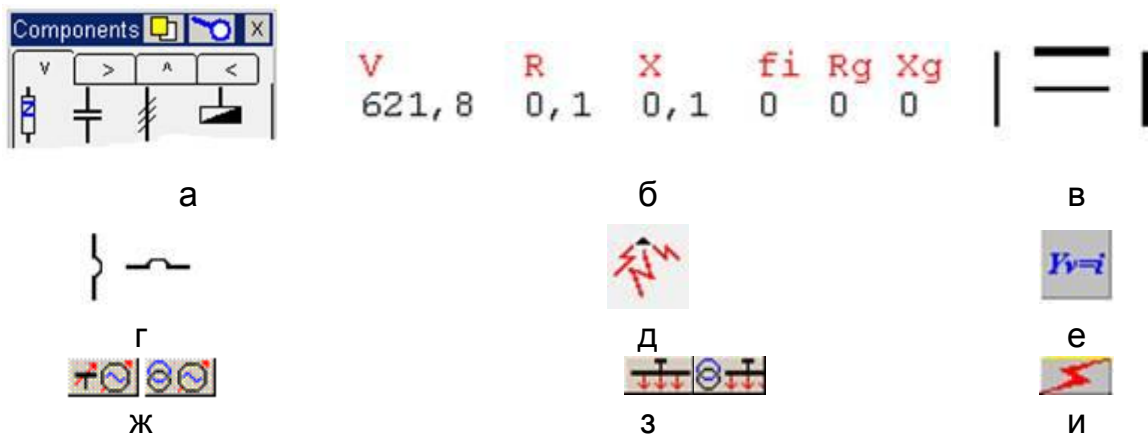


Рис. 2. Зовнішній вигляд графічних зображень елементів меню в ПЗ «Eirplek»

Для формування розрахункової схеми необхідно вибрати необхідний елемент з меню компонентів (Components), рис. 2, а. Компоненти в схемі обертати неможливо. Замість цього потрібно вибрати компоненти з необхідною орієнтацією однієї з чотирьох сторінок в меню компонентів. На кожній вкладці меню компонентів є також компоненти, які мають тільки одну орієнтацію (ті ж самі компоненти на кожній сторінці).

Значення параметрів. При перенесенні елемента з меню компонентів на схему і при одночасному натисканні на елемент на однолінійній схемі на екрані, значення параметрів (рис.2, б) компонента з'являються або в маленькому вікні, або в рядку внизу екрана разом з рядком, що містить символи параметрів. Значення в рядку можуть бути додані також як і в рядку текстового редактора. Параметри після зміни зберігаються після натискання на кнопку ОК або на будь-яку точку екрана програми, на інший компонент, одну з кнопок розрахунку на панелі інструментів. Вікно, що містить таблицю параметрів, може бути приховано за допомогою "View | Parameter windows..." в рядку меню. Параметри деяких компонентів (лінія електропередачі, двообмотковий трансформатор тощо) можуть бути показані як в таблиці так і на лінії внизу екрана.

Одиниці. Ця програма використовує основні одиниці для всіх параметрів (В, А, Вт, Ом). Єдиний виняток стосується лінії електропередачі, яка вимірюється в кілометрах. Однак, для більшості компонентів параметри можуть також бути введені, використовуючи примітку для одиниць.

З'єднувальні проводи та шини. Провід (тонкі лінії) і шини (товсті лінії) є тільки сполучними лініями (рис.2,в). У них немає ніяких параметрів. Вони додаються в схему так само як інші компоненти, при переміщенні і відпуску. Вони можуть бути збільшені або зменшені. Необхідно помістити курсор до одного з кінців шини або проводу так, щоб курсор перетворився на подвійну стрілку та натиснути ліву кнопку миші, і перемістити мишу, щоб збільшити або скоротити провід або шину до необхідної довжини.

Перетин проводів. Перетинальні проводи можуть пересікати проводи без з'єднання (рис.2,г). Це – лише лінії, які не мають жодних параметрів. Вони не можуть бути збільшені (вкорочені). Інші елементи можуть бути приєднані тільки до кінця проводу (якщо пересікаються два дроти або шини, то вони – з'єднані).

Коротке замикання. Точка короткого замикання може бути встановлена на потрібне місце шляхом переміщення елемента «коротке замикання» (fault) (рис.2,д). В елемента «коротке замикання» (fault) немає ніяких параметрів.

Розрахунки. Є окрема кнопка для кожного типу розрахунку. Після розрахунку результати не показуються, якщо не використовується індикатор, описаний в пункті "Індикатор результатів" (нижче) (рис.2,е).

Розрахунок електричної мережі. Проводиться, розглядаючи генератори та фідери як джерела живлення з деяким внутрішнім опором. Параметр напруги генератора або фідера – внутрішня міжфазна напруга (рис.2,ж). Необхідно встановити напругу (без відведення chagners або з перемикачами відгалужень).

Розрахунок потоку розподілу (рис.2,з) (без відгалужень, або з відгалуженнями). Параметр напруги генераторів і фідерів – міжфазна вихідна напруга. Фаза – як параметр генераторів не використовується в розрахунку потоку розподілу.

Розрахунок трифазного короткого замикання (рис.2,и). Струми і напруги всієї електричної мережі розраховані. Коротке замикання знахо-

диться там, де встановлений компонент короткого замикання:



Цей компонент може бути переміщений і встановлений як звичайний елемент.  – Розрахунок міжфазного короткого замикання.  – Розрахунок замикання на землю.  – Розрахунок міжфазного короткого замикання через землю. Коли одна з семи кнопок розрахунків, зазначених вище, натиснута, зображення кнопки з'являється поруч із заголовком електричної мережі, як нагадування про останню операцію. Зображення може бути приховане, після натискання на маленький «х» в лівому верхньому кутку зображення.

Розв'язання задачі за допомогою програми

Ознайомившись та навчившись будувати схеми, переходимо до пошуку струмів короткого замикання для схеми, зображеної на рис. 1, а) з використанням програмного забезпечення «Elplek».

Для введення деяких даних у ПЗ «Elplek» необхідно попередньо здійснити перетворення:

$x_{gs} = 0,75797 \text{ Ом}$ – індуктивний опір системи – для елемента GS;

$r_{gs} = 0 \text{ Ом}$ – активний опір системи – для елемента GS;

$x_T = \left(\frac{10500^2}{400^2} \right) \times 8,58 = 5,91216 \text{ Ом}$ – індуктивний опір трансформатора –

для елемента T1;

$r_T = \left(\frac{10500^2}{400^2} \right) \times 11,95 = 1,34367 \text{ Ом}$ – активний опір трансформатора – для

елемента T1;

$x_{gf1} = 0,06 \text{ мОм} = 0,00006 \text{ Ом}$ – індуктивний опір струмової котушки розчіплювача автомата GF1 – для елемента Z3;

$r = 8,41 \text{ мОм} = 0,00841 \text{ Ом}$ – перехідний опір K3 у точці K_1 – для елемента Z5;

$x_{gf2} = 0,1 \text{ мОм} = 0,0006 \text{ Ом}$ – індуктивний опір струмової котушки розчіплювача автомата GF2 – для елемента Z4;

$x_0 = 0,145 \text{ Ом}$ – індуктивний опір ділянки шин від введів трансформатора – для елемента TL1;

$r_0 = 0,044 \text{ Ом}$ – активний опір ділянки шин від введів трансформатора – для елемента TL1;

$x_0 = 0,017 \text{ Ом}$ – індуктивний опір ділянки шин від введів трансформатора – для елемента TL2;

$r_0 = 0,031 \text{ Ом}$ – активний опір ділянки шин від введів трансформатора – для елемента TL2;

$x_0 = 0,056$ Ом – індуктивний опір ділянки шин від введів трансформатора – для елемента TL3;

а

б

Номінальна напруга генератора

Опір генератора

Parameter	Value	Parameter	Value
Vpp	10,5e3	Z1	0,75797
III(°)	0	III1(°)	90,0
R1	0	Z0	0
X1	0,75797	III0(°)	0
R0	0	Z2	0
X0	0	III2(°)	0
R2	0	Zg	0
X2	0	IIIg(°)	0
Rg	0		
Xg	0		

в

Номінальна напруга первинної і вторинної обмоток двообмоткового трансформатора

Опори двообмоткового трансформатора

Потужність двообмоткового трансформатора

Parameter	Value	Parameter	Value
V1	10,5e3	Z1	0,15153
V2	400	III1(°)	73,12
X	5,91216	Z0	0,0
R	1,34367	III0(°)	0,0
III1(°)	0		
III2(°)	0		
IIIg(°)	0		

г

Довжина лінії ЛЕП

Опори проводів ЛЕП

Parameter	Value	Parameter	Value
Length	0,01	Z1	0,15153
s1	0,5	III1(°)	73,12
R1	0,044	Z0	0,0
X1	0,145	III0(°)	0,0
R0	0		
X0	0		
B	1E-6		

д

Parameter	Value	Parameter	Value
Length	0,12	Z1	0,03536
s1	0,5	III1(°)	28,74
R1	0,031	Z0	0,0
X1	0,017	III0(°)	0,0
R0	0		
X0	0		
B	1E-6		

е

Parameter	Value	Parameter	Value
Length	0,01	Z1	0,26205
s1	0,5	III1(°)	12,339
R1	0,256	Z0	0,0
X1	0,056	III0(°)	0,0
R0	0		
X0	0		
B	1E-6		

Рис. 3. Розрахунок за допомогою ПЗ «Elplek»:

а – схема заміщення; б – введення даних до елемента генератора GS; в – введення даних до елемента трансформатора T1; г – введення

даних до елемента трифазної ЛЕП TL1; д – введення даних до елемента трифазної ЛЕП TL2; е – введення даних до елемента трифазної ЛЕП TL3
 $r_0 = 0,256 \text{ Ом}$ – активний опір ділянки шин від вводів трансформатора – для елемента TL3;

$r = 1,89 \text{ мОм} = 0,00189 \text{ Ом}$ – перехідний опір КЗ у точці K_2 – для елемента Z4;

Розглянута вище схема при її створенні в ПЗ «Elplek» має такий вигляд (рис.3).

Для отримання розрахунку необхідно натиснути на елемент КЗ на схемі заміщення, потім кнопку трифазного короткого замикання в рядку меню зверху.

Результати розрахунку струмів КЗ в ПЗ «Elplek» наведемо на рис. 4.

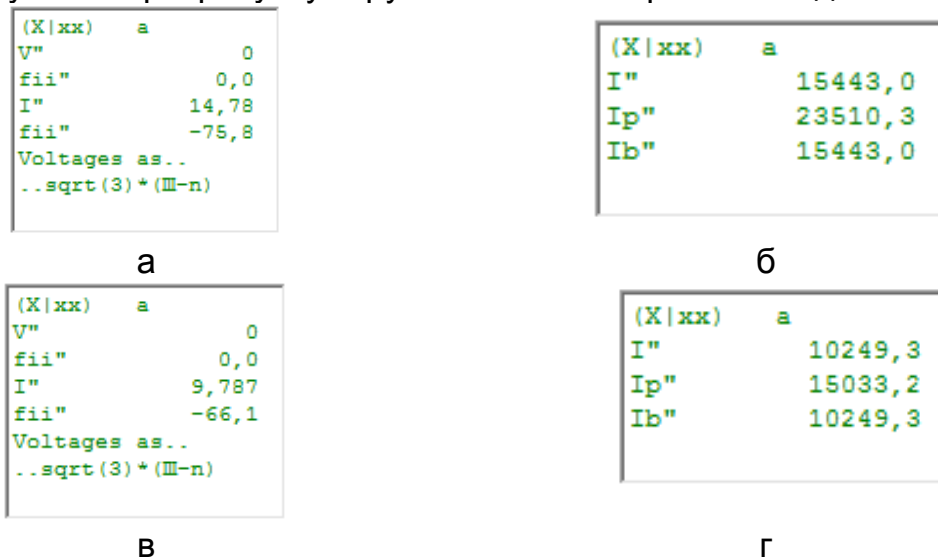


Рис. 4. Розрахунок КЗ для K1 та K2 у ПЗ «Elplek»:

а, в – розрахунок за методом накладання; б, г – розрахунок струмів КЗ за стандартом IEC

Результати досліджень. У розглянутій в літературному джерелі [2] задачі значення періодичної складової струму КЗ від всіх джерел становить у точці K_1 та K_2 відповідно:

$$I_{K3} = 14,8 \text{ кА}, I_{K3} = 9,83 \text{ кА},$$

а ударний струм КЗ становить:

$$i_y = 21 \text{ кА}, i_y = 14,1 \text{ кА}.$$

За методом накладання в програмному забезпеченні отримано: для точки K_1 та K_2 :

$$I_{K3} = 14,78 \text{ кА}; I_{K3} = 9,787 \text{ кА}.$$

Ударний струм у точці короткого замикання за допомогою розв'язку методом накладання не розраховується, тому для його знаходження скористаємося стандартом IEC.

За стандартом IEC ударний струм КЗ становить в ПЗ: для точки K_1 та K_2 :

$$i_y = 23,510 \text{ кА}; i_y = 15,033 \text{ кА}.$$

Отже, ми бачимо, що отриманий струм короткого замикання та ударний струм дещо відрізняються від результатів у [2]. Це пов'язано з тим, що розрахунок ударного струму у роботі [2] виконується за формулою:

$$i_{уд} = \sqrt{2} I_{п0} K_{уд},$$

де $K_{уд}$ – ударний коефіцієнт, $K_{уд} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}$, T_a – постійна часу, $T_a = \frac{X_{ЭК}}{\omega_c R_{ЭК}}$.

Ми бачимо, що в [2] використовуються спрощені вирази, які достовірні за умови $X_{ЭК}/R_{ЭК} \geq 5$, а в ПЗ використовується більш повна формула, і вона є достовірнішою, а саме:

$$K_{уд} = 1,02 + 0,98 e^{-\frac{3}{X_{ЭК}/R_{ЭК}}}.$$

Із внесенням всіх вище перерахованих поправок отримуємо, що ударний струм для точки K_1 та K_2 становить:

$$i_y = 22455,44699 \text{ А}; i_y = 14343,18 \text{ А}$$

У ПЗ розрахунок ударного струму короткого замикання проводиться з урахуванням коефіцієнта $c = 1,05$, який суттєво впливає на подальший розрахунок:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k}$$

Таким чином, враховуючи коефіцієнт при розрахунку ударних струмів короткого замикання, отримуємо:

для точки K_1 та K_2 :

$$i_y = 22455,44699 \cdot 1,05 = 23578,21934 \text{ А}; i_y = 14,826 \cdot 1,05 = 15060,34 \text{ А}.$$

Отже, результати відрізняються несуттєво, похибка в розрахунку складає приблизно 0,3 %.

Висновки

Розглянувши цей програмний продукт, ми переконалися, що «Elplek» доволі таки проста у використанні програма, має деякі недоліки, вона не може виводити дані щодо ударного струму при здійсненні розрахунків методом накладання та при розрахунку за стандартом ІЕС-60909 струм усталеного стану I_k'' як функція часу не розраховується. Але вона також має і багато переваг – програма безкоштовна, має достатньо простий та зрозумілий інтерфейс, досить великий вибір пристроїв релейного захисту тощо.

Список літератури

1. Program Elplek: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pp.kpnet.fi/ijl>.
2. Перехідні процеси в системах електропостачання: підручник для вузів. / Г.Г. Півняк, В.М. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен; за ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. – Дніпропетровськ: Національний гірничий ун-т, 2002. – 597 с.
3. РЗА. Все о релейной защите: [Электронный ресурс] / Расчет релейной защиты. ELPLEK. Русская версия помощи – 2011. – Режим доступа: http://rza.org.ua/elplek/view/Raschet-releynoy-zashchiti--ELPLEK--Russkaya-versiya-pomoshchi_2.html

Проведено обоснование целесообразности применения автоматизированного расчета аварийных режимов электрических сетей среднего класса напряжения. Приведены примеры и поставлены задачи дальнейших исследований.

Система электроснабжения, автоматизированный программный продукт, токи короткого замыкания.

A rationale for the use of automated calculation of emergency operation of electric network voltage class. The examples and tasks for future research.

Electricity, automated software, short-circuit currents.

УДК 621. 3. 066

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ КОНТАКТ-ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ МЕТОДОМ ГАЗОПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ

І.П. Радько, кандидат технічних наук

Наведено результати досліджень технологій відновлення і зміцнення контакт-деталей електричних апаратів. Обґрунтовано доцільність застосування технології відновлення контакт-деталей методом газоплазмового напилення.

Контакт-деталі, напилення, плазма, електрична дуга, контактні матеріали.

Нині актуальною є проблема розробки технології відновлення і зміцнення контакт-деталей електричних апаратів.

Методи, що застосовувалися раніше для відновлення і зміцнення контактних апаратів, розробки технології нанесення покриттів не враховували особливостей формування і будови плазмових покриттів.

Мета досліджень – обґрунтування технології відновлення і зміцнення контакт-деталей електричного обладнання, яка є найбільш екологічно ефективною.

Матеріали та методика досліджень. Електричні комутаційні апарати є важливим засобом електрифікації та автоматизації виробничих процесів у агропромисловому комплексі, особливо в тваринництві. Відмова електрообладнання в електроустановках тваринництва призводить до великих втрат продукції, зниження її якості, тому за наслідками цю відмову можна порівняти із втратою об'єктом енергопостачання. Так, відмова обладнання технологічних систем молочних ферм призводить до знижен-