

# ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ НА КОНСТРУКЦІЮ ЕЛЕКТРОНАГРІВАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПУ

*Кишкарьов К. В.* – студент групи Ен 4/2,

*Садовий О.С.* – к.т.н., доц., [sadovuyos@mnaui.edu.ua](mailto:sadovuyos@mnaui.edu.ua)

*Миколаївський національний аграрний університет*

**Вступ.** Нагрівальний елемент трансформаторного типу виконаний на основі силових трансформаторів загального призначення, який містить трифазний просторовий магнітопровід з ідентично виконаною первиною обмоткою. Однак необхідно не забувати що даний елемент опалювальної системи використовується в якості нагрівача, тому вторинна обмотка, на відмінно від силових трансформаторів, має один виток і конструктивно виконана замкненою, являючись при цьому навантаженням [1]. Конструктивні особливості нагрівального елемента і нагрівального блоку повинні забезпечувати ефективний тепловідвід, в результаті якого не повинно бути областей з локальним перегрівом, що може призвести до неполадок нагрівального елемента та системи в цілому.

**Мета.** Метою даної роботи є визначення перспективного напрямку покращення електронагрівального елемента трансформаторного типу для покращення експлуатаційних та теплових показників.

**Аналіз та результат.** Для підвищення експлуатаційних показників нагрівального елемента, необхідно ще на етапі розрахунку (проектування) враховувати конструкційні особливості, що дозволить в цілому підвищити термін служби, надійність та ККД нагрівального елемента. Принцип дії нагрівального елемента трансформаторного типу, на відміну від принципу дії силового трансформатора, спрямований на перетворення електричної енергії в теплову, що забезпечується вториною обмоткою. Ділянка вторинної обмотки у вигляді стінки корпусу виконаний з листового струмопровідного матеріалу. Для створення контура зі струмом, стінки корпусної оболонки з'єднані між собою в трифазну ланцюг за допомогою електропровідних перемичок, причому висота корпусу перевищує висоту перемичок [2]. Зазначене конструктивне рішення призводить до розтікання струму по всій висоті листа корпусу, що є причиною зменшення активного електричного

опору, що в свою чергу підвищує потужності тепловиділень у вторинній обмотці та збільшення споживаної потужності.

Для правильного вибору товщини стінки корпусу при відомих лінійних розмірах ділянки вторинної обмотки необхідно враховувати зменшення активного опору  $R_k$  за допомогою виразу [3]:

$$R_k = k_R \cdot R_{кб},$$

де  $k_R$  – коефіцієнт, що враховує зменшення активного електричного опору при розтіканні струму по висоті корпусу;  $R_{кб}$  – базове значення опору прямокутної ділянки корпусу, розташованого між перемичками, без урахування розтікання струму.

При розрахунку активного електричного опору ділянки корпусу, який є елементом вторинної обмотки, вкрай важливо правильно врахувати ступінь нерівномірного розподілу щільності струму по висоті листа корпусу, отже необхідно виконати корекцію величини опору. Дана задача може вирішитися за допомогою аналізу електричного поля, так як конструкція нагрівального елемента передбачає розбірне або нерозбірне (зварне) з'єднання кришки та дна з корпусом, то для спрощення аналізу можна припустити, що струми не проникають з бічної стінки корпусу в дно і кришку корпусу нагрівального блоку. Отже, при моделюванні можна визначати тільки ті струми, які замикаються по стінці корпусу. Для виконання даного завдання доречно використати методу кінцевих елементів, який можна застосувати в програмі ELCUT [4]. Вона дозволить автоматизувати процес розрахунку електричного струму  $I$  через задану поверхню на одиницю товщини матеріалу. Активний електричний опір провідника визначатимуться за величиною електричного струму, що протікає між лініями  $abcd$  і  $efgh$  (рис. 1,а) при величині різниці потенціалів  $U_0 = 1$  В. Розподіл електричного потенціалу для елемента вторинної обмотки розташованого між кінцями перемички представлений на (рис.1, б).

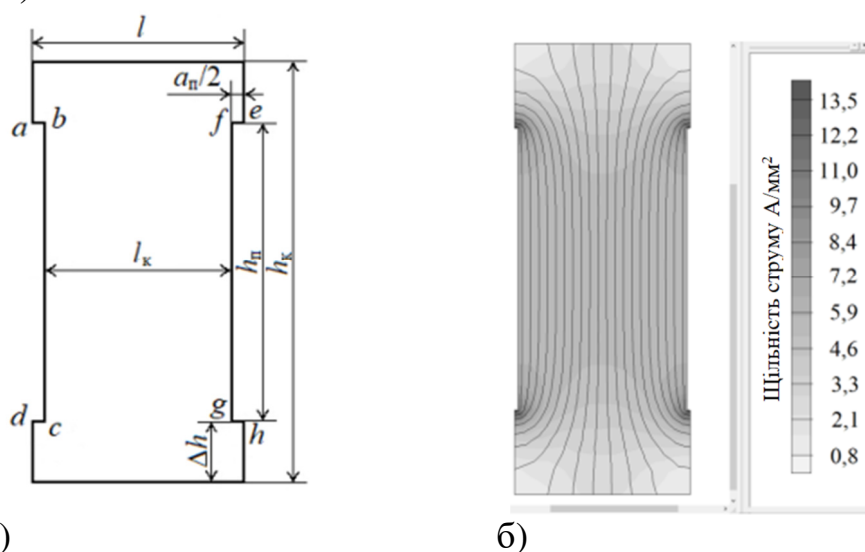


Рис. 1 Промодульоване електричне поле для елемента вторинної обмотки: а) - ділянка дослідження електричного поля між кінцями перемички; б) – результат моделювання розтікання електричного струму.

Електричне поле на ділянці дослідження відповідно до електричного потенціалу  $U$  описується двухмірним рівнянням в прямокутній системі координат  $x, y$ :

$$\frac{\partial}{\partial x} \cdot \left( \gamma \cdot \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left( \gamma \cdot \frac{\partial U}{\partial y} \right) = 0,$$

де  $\gamma$  – питома електрична провідність матеріалу.

На лінії  $abcd$  справедливі граничні умови першого роду  $U = U_0 = 1$ , а лінії  $efgh$  –  $U = 0$ . На інших границях досліджуваної ділянки справедливі граничні умови другого роду  $\partial U / \partial n = 0$ , де  $n$  – нормальна складова до поверхні ділянки.

Активний електричний опір  $R_k$  визначається за формулою:

$$R_k = \frac{U_0}{I \cdot \Delta_k},$$

де  $\Delta_k$  – товщина матеріалу.

При розрахунках струму на досліджувальній ділянці, необхідно врахувати розтікання струму, що призводить до зменшення активного електричного опору. Для уточнення даного ефекту обчислюється коефіцієнт зменшення активного опору за формулою:

$$k_R = \frac{R_k}{R_{k0}} = \frac{R_k \gamma h_{\pi} \Delta_k}{l_k},$$

де  $R_{k0}$  – базовий електричний опір прямокутної області між лініями  $bc$  і  $fg$  без урахування розтікання струму;  $h_{\pi}$ ,  $l_k$  – геометричні розміри досліджуваної ділянки.

В результаті дослідження виявлено, що геометричні розміри досліджуваної ділянки  $h_{\pi}$ ,  $l_k$  та товщина використаного матеріалу  $\Delta_k$  впливають на коефіцієнт зменшення активного опору  $k_R$ . При моделюванні значення розміру  $h_{\pi}$  змінювали в діапазоні 200 ... 600 мм, розмір  $l_k$  змінювали в діапазоні 100 ... 600 мм та розмір товщини матеріалу  $\Delta_k$  змінювався в діапазоні 100 ... 200 мм. Результати досліджень наведені графічно на рис. 2.

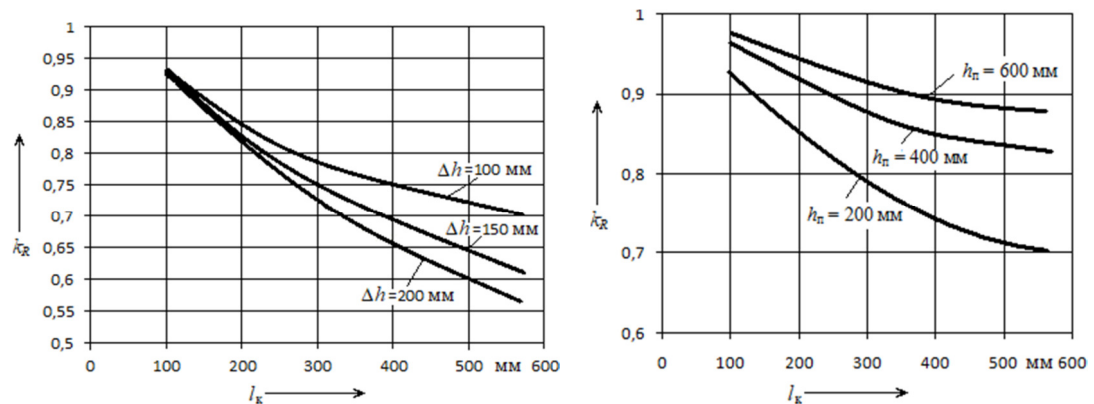


Рис. 2. Результати досліджень залежності коефіцієнта зменшення активного опору від  $h_{\pi}$ ,  $l_k$ ,  $\Delta_k$

**Висновок.** Проведені дослідження нагрівального елементу трансформаторного типу для визначення перспективних шляхів вдосконалення конструкції. Виявлено, що величина активного опору вторинного короткозамкнутого контуру та потужність тепловиділення значно залежать від геометричних співвідношень і розмірів перемички та ділянки вторинного контуру розміщеного між перемичками. Знайдені результати дають можливість удосконалити нагрівальний елемент в процесі його проектування, для забезпечення якісних умов експлуатації.

### **Література**

1. Громов Б.Н., Саламов А.А., Смирнов И.А. Состояние и перспективы развития централизованного теплоснабжения: ВИНТИ, 1988. 132 с.
2. Сериков А.В., Кузьмин В.М. Электронагревательные элементы и устройства трансформаторного типа для систем теплоснабжения: моногр. Владивосток: Дальнаука, 2012. 247 с.
3. Методика электромагнитного расчета нагревательного элемента трансформаторного типа с пространственной магнитной системой / Зар Ни Ньейн и др. Известия вузов. Электромеханика. 2018. № 2, т. 61, С. 59-64.
4. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.1. Руководство пользователя. – СПб.: Производственный кооператив ТОР, 2003. – 249 с.