

Запорізька державна інженерна академія

ВПЛИВ ГРАНИЧНИХ УМОВ НА РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУРИ ОХОЛОДЖУЮЧОЇ РІДИНИ В ОБМОТКАХ ТРАНСФОРМАТОРА

Вступ. У сучасному електромашинобудуванні проблеми забезпечення високої напруги та охолодження електричних машин все більше висуваються на перший план. Зростаюча довжина електричних мереж вимагає збільшення напруги електропередачі; це у свою чергу призводить до зростання напруги апаратів, що підключаються. У електричних машинах великої потужності вирішення питань охолодження котушкових обмоток стає усе більш важким. Принципові вимоги, які необхідно враховувати при проектуванні електричних машин, зводяться до наступних [1]:

1. Треба прагнути, щоб усередині машини не перевищувалася визначена середня температура. Максимальні температури усередині активних частин вимагають особливого обмеження і контролю.

2. Для того, щоб у заданій конструкції визначити розрахунковим шляхом середні і максимальні перевищення температури, що відповідають визначеному навантаженню, повинні бути розроблені необхідні розрахункові методики.

Таким чином, визначення розподілу температури трансформаторного мастила, яке є охолоджуючою рідиною, є одним з ключових питань при розробці нових трансформаторів та обслуговуванні вже існуючих електричних машин.

Постановка задачі. Як відомо, розподіл температури в рідині залежить від початкових умов, граничних умов, геометрії моделі та теплового навантаження на модель. Таким чином, якщо змінювати лише граничні умови при решті незмінних, то є зрозумілим, що зміна розподілу температури в досліджуваній моделі продемонструє вплив граничних умов на розподіл температури охолоджуючої рідини у обмотках трансформатора. Нижче наведено геометричні параметри моделі, що досліджується (рис.1).

Тепловіддача зі стінок бака (AB та CD) буде здійснюватися, головним чином, завдяки випромінюванню, тому що бак є гладкостінним та без додаткових радіаторів. Тепловіддача зі стінок не перевищує 7%, таким чином нею можна знехтувати [2]. Зважаючи на те, що тепловіддачі через поверхню AD не буде, то моделювання зводиться до визначення розподілу температури охолоджуючого середовища на поверхні BC.

Ширина моделі – 60 мм. Кількість котушок – 40.
Площа поверхні кожної котушки – 500 мм².

Початкові умови:

- початкова температура мастила 60⁰С;
- температура навколишнього середовища 30⁰С;
- час дослідження 10 секунд;
- щільність теплового потоку 3500 Вт/м².

Таким чином, необхідно створити математичну модель температурного поля трансформаторного мастила і зіставити отриманні результати зі значеннями

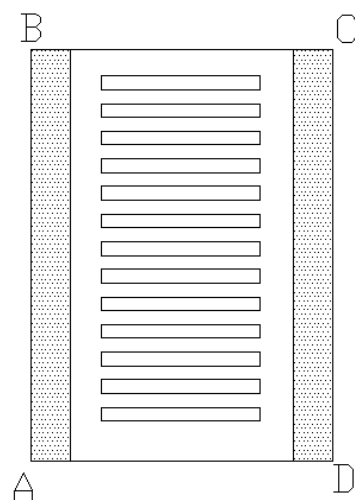


Рисунок 1 – Геометрична схема обмотки трансформатора

температури мастила, які були отримані раніше на підставі моделювання в середовищі ANSYS Flotran [3].

Результати роботи. Симуляцію процесу перенесення тепла трансформаторним мастилом виконано з використанням прикладного програмного пакету MATLAB 7.9.0.

Для спрощення сприйняття ключові пункти моделювання відображено блок-схемою (рис.2).

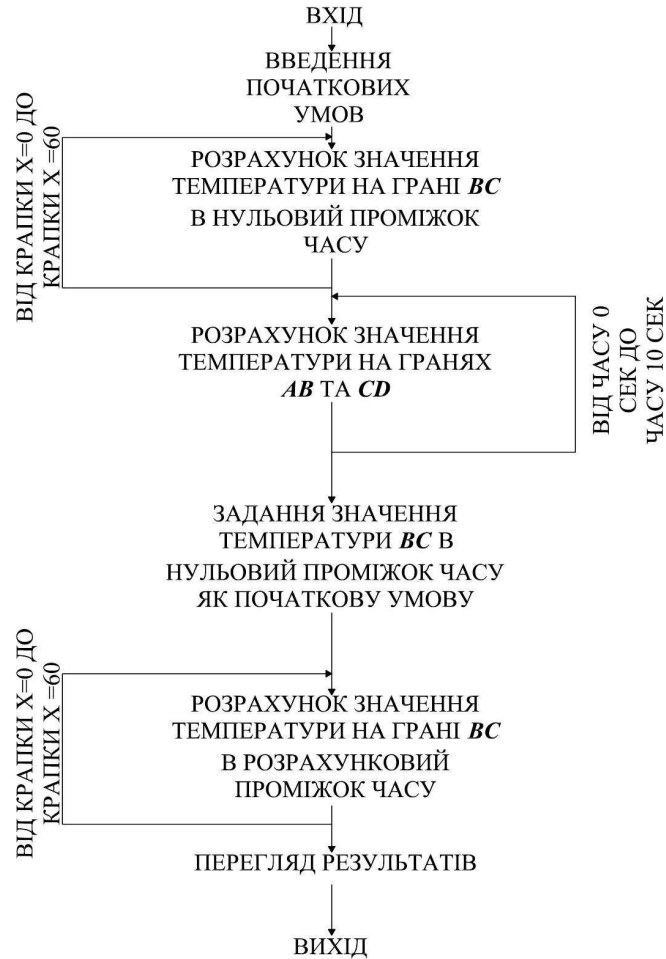


Рисунок 2 – Блок-схема розрахунку моделі обмотки трансформатора

Для чисельного рішення диференційних рівнянь обрано метод кінцевих різниць. Для визначення чисельного значення температури на грані ВС складено рівняння:

$$t_{mkijk}(x, y, \tau) = \frac{c_{mi} t_{mi}}{c_{mi} t_{mi}} + \frac{q(y_i) F \tau_k x_i y_j n_i}{c_{mi} m_n}, \quad (1)$$

де $t_{mkijk}(x, y, \tau)$ – температура мастила в точці i з координатами (x, y) в момент часу τ , К;

c_{mi}, c_{mi} – теплоємність мастила початкова та в точці i , Дж·кг⁻¹·К⁻¹;

t_{mi}, t_{mi} – початкова температура мастила та в точці i , К;

q – щільність теплового потоку, Вт/м²;

n_i – кількість котушок;

F – площа поверхні однієї котушки, м²;

x_i, y_j – координати розрахункової точки.

Після виконання розрахунку рівняння (1) отримано поверхні залежності температури (вісь temp) на грані BC від часу (вісь tau) та ширини обмотки (вісь x) при граничних умовах першого роду (рис.3), другого роду (рис.4), третього роду (рис.5), четвертого роду (рис.6).

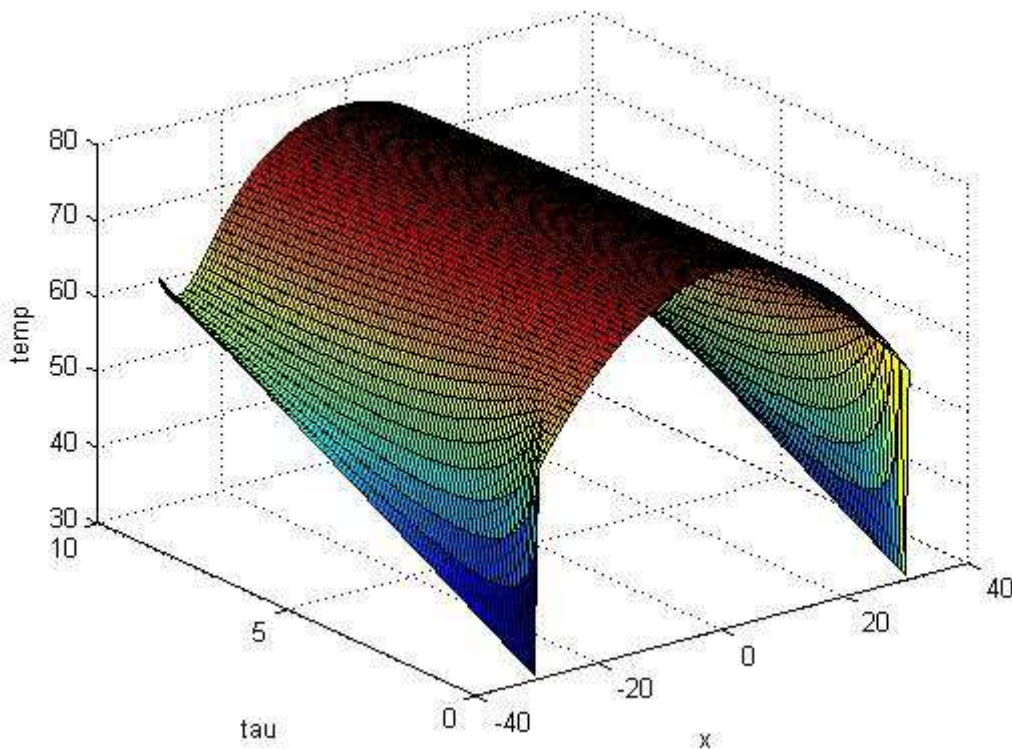


Рисунок 3 – Залежність значень температури мастила на грані BC від часу та ширини обмотки при граничних умовах першого роду

При вирішенні моделі обмотки трансформатора при граничних умовах першого роду необхідно відзначити, що температура на стінках бака (AB та CD) буде приростати лінійно і не буде перевищувати температуру мастила в баку у відповідний момент часу. Розподіл температури мастила в баку трансформатора відносно ширини обмотки буде мати вигляд вісесиметричної параболи. Треба відзначити, що в початковий момент часу на гранях AB і CD (рис.1) є вертикальні лінійні відрізки, які вказують на відвід тепла від мастила на розігрів стінок баку та витрати тепла в навколишнє середовище.

При граничних умовах другого роду необхідно відзначити, що температура на стінках бака (AB та CD) приростає лінійно, проте вона значно перевершує температуру мастила в баку у відповідний момент часу від $\tau=5$ секунд. Це значить, що стінка баку буде мати більш високу температуру, ніж мастило, яке в заданих умовах повинно розігрівати ці стінки. Розподіл температури мастила в баку трансформатора відносно ширини обмотки буде мати вигляд вісесиметричної параболи, але в початковий момент часу в області трансформатора біля стінок баку немає вертикальних лінійних відрізків. Таким чином, температура стінок баку змінюється пропорційно змінам температури мастила біля цих стінок без затримки в часі.

При граничних умовах третього роду задаються температура навколишнього се-

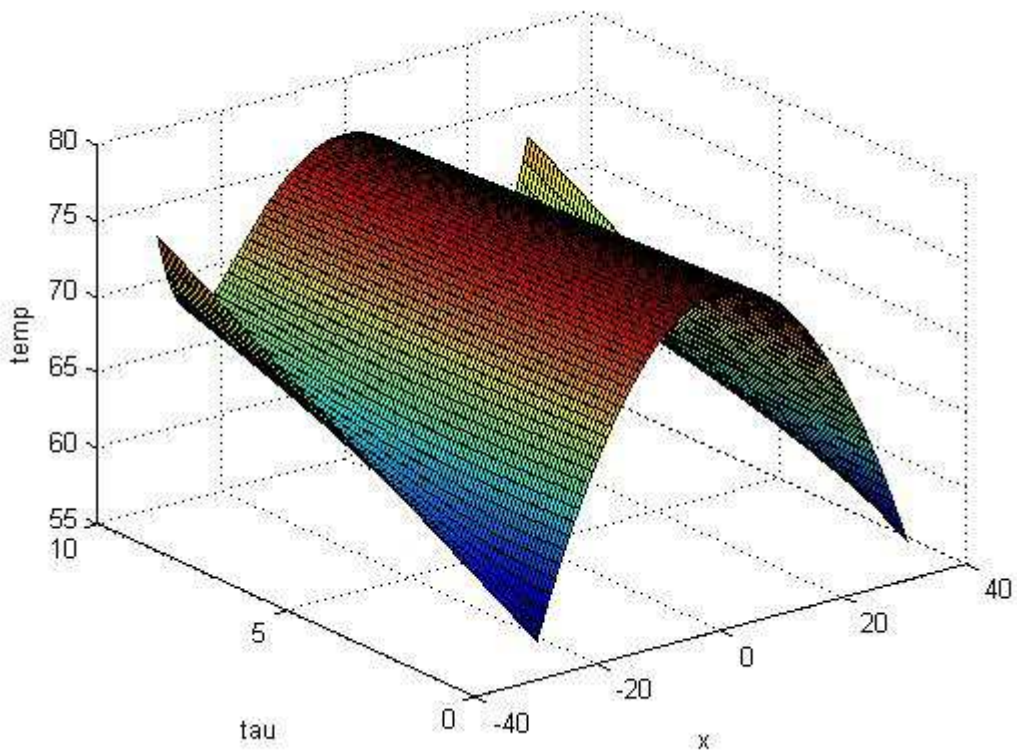


Рисунок 4 – Залежність значень температури мастила на грані ВС від часу та ширини обмотки при граничних умовах другого роду

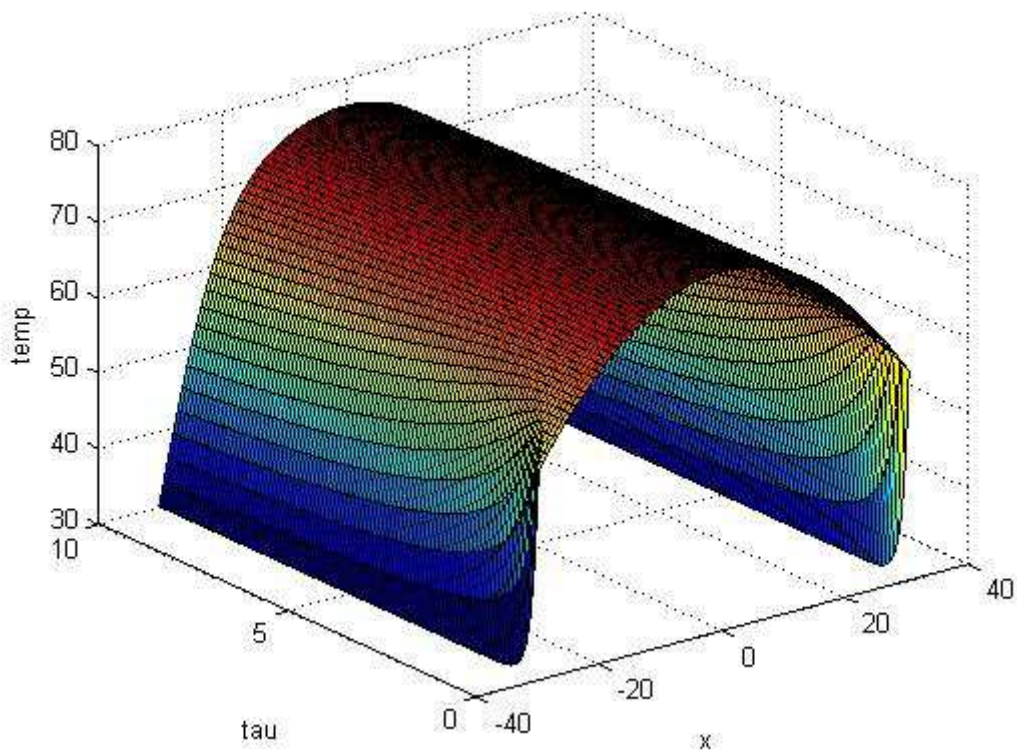


Рисунок 5 – Залежність значень температури мастила на грані ВС від часу та ширини обмотки при граничних умовах третього роду

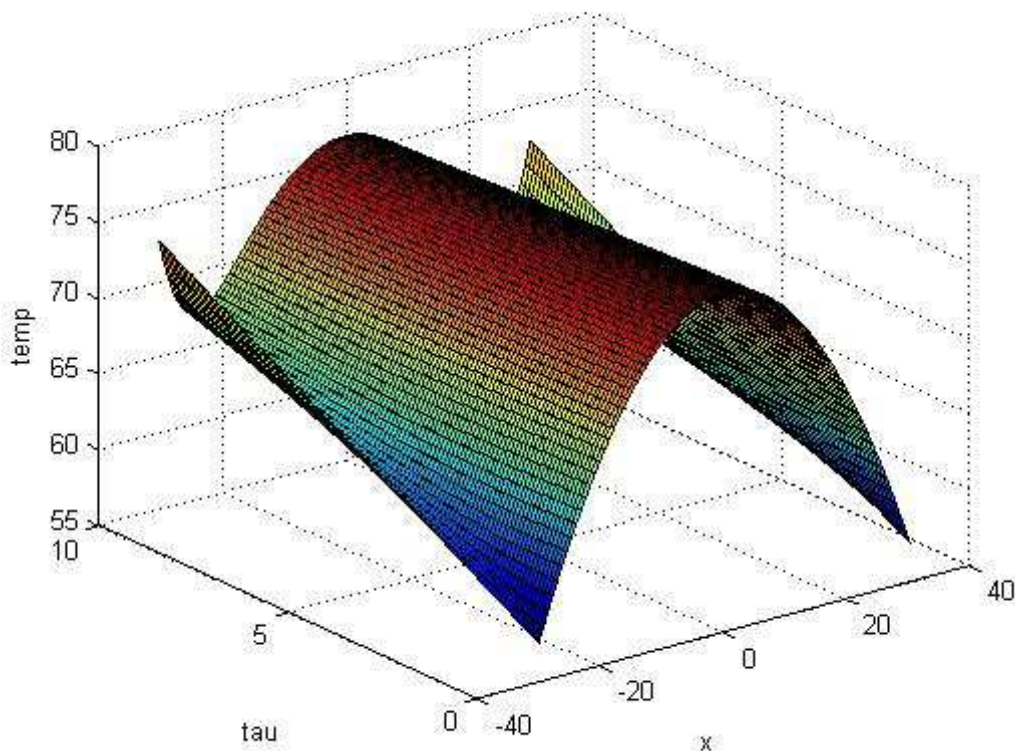


Рисунок 6 – Залежність значень температури мастила на грані ВС від часу та ширини обмотки при граничних умовах четвертого роду

редовища t_{oc} і закон теплообміну між поверхнею тіла і довкіллям. Таким чином, розподіл температури мастила в баку трансформатора відносно ширини обмотки має вигляд, аналогічний розподілу температури мастила в баку трансформатора при граничних умовах першого роду. Проте через теплообмін з навколишнім середовищем температура на стінках бака (AB та CD) буде дорівнювати температурі самого навколишнього середовища.

При граничних умовах четвертого роду розподіл температури в моделі має вигляд ідентичний розподілу температури при граничних умовах другого роду.

Порівнявши отримані результати розрахунків з результатами моделювання в середовищі ANSYS Flotran [3], можна зробити висновок, що значення найвищої температури мастила в кожному з чотирьох розглянутих варіантів збігається з отриманою раніше температурою при виконанні розрахунків в середовищі ANSYS Flotran.

Висновки. Виконавши розрахунки температурного поля охолоджуючого середовища в обмотках трансформатора при різних граничних умовах, продемонстровано залежність розподілу температури від граничних умов. Обрано умови для найбільш ефективного відводу теплоти для надійної роботи трансформатора. При аналізі чотирьох розглянутих варіантів виявлено, що саме граничні умови першого роду найбільш точно описують характер розподілу температури для розглянутих початкових умов.

Таким чином, можна зробити висновок, що в розглянутому об'єкті при заданих умовах мають місце саме граничні умови першого роду.

ЛІТЕРАТУРА

1. Трансформаторы силовые. Термины и определения [текст]: ГОСТ 16110-82. – [Введ. 1987-01-07]. – М.: Изд-во стандартов СССР, 1987. – 30с.

2. Кислицын А.Л. Трансформаторы: [учебное пособие по курсу «Электромеханика»] / А.Л.Кислицын. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 76с.
3. Яковлева І.Г. Математичне моделювання теплообмінних процесів в обмотках трансформаторів з висотою горизонтального каналу менше 3 мм [текст] / І.Г.Яковлева, С.В.Ільїн // Математичне моделювання: науковий журнал. – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2010. – №1(22). – С.82-86.

Надійшла до редколегії 21.02.2012.

УДК 532.5.072.15

РАКОЧА Ю.В., аспірант
ПАВЛЕНКО А.М., д.т.н., професор

Дніпродзержинський державний технічний університет

НЕСИМЕТРИЧНИЙ НАГРІВ ПОРИСТОЇ ПЛОСКОЇ СТІНКИ

Вступ. При пошуку кількісного опису явищ теплообміну зазвичай вводять у розгляд деяку систему звичайних диференціальних рівнянь чи рівнянь з частковими похідними, справедливу у певній області, і накладають на цю систему граничні та початкові умови. На цій стадії математична модель замкнена, і для практичних застосувань необхідно тільки знайти рішення для конкретної множини числових даних. Але при цьому і виникають основні труднощі, так як точному рішенню відповідними методами піддаються лише рівняння самого простого виду всередині геометрично тривіальних меж, як правило, паралельних чи перпендикулярних площинам (осям) обраної системи координат. Щоб подолати ці труднощі, необхідно перетворити задачу до конкретної алгебраїчної форми, що включає тільки основні арифметичні операції. Для досягнення цієї мети можливі різні види дискретизації неперервної задачі, визначеної диференціальними рівняннями.

Постановка задачі. На основі отриманого при розрахунку розподілу температур по товщині пористої плоскої стінки методом кінцевих різниць (МКР) необхідно дати оцінку густині теплового потоку методом з одним наступним кроком за часом, тим самим вирішити зворотну задачу для уточнення значення коефіцієнта теплопровідності.

Результати роботи. Розглянемо нагрівання пористої плоскої стінки товщиною $S, м$ з початкової температури $t_{поч}, ^\circ C$. Теплофізичні властивості обшивки: $\lambda, Вт/(м \cdot K)$; $c, кДж/(кг \cdot K)$; $\rho, кг/м^3$; $\alpha = \lambda/(c \cdot \rho), м^2/с$. Ліва поверхня ($x = 0$) омивається потоком водяної пари зі швидкістю $w, м/с$, температурою $t_{жс1}, ^\circ C$ і коефіцієнтом тепловіддачі на цій поверхні $\alpha_1, Вт/(м^2 \cdot K)$. Права поверхня ($x = S$) омивається вільним потоком атмосферного повітря з температурою $t_{жс2}, ^\circ C$ і коефіцієнтом тепловіддачі $\alpha_2, Вт/(м^2 \cdot K)$.

Використовуємо для рішення явну схему. Оскільки її порядок апроксимації по координаті дорівнює двом, то похибка рішення складає $K(\Delta x)^2$ чи $K(\Delta x/S)^2 \cdot 100\%$, де коефіцієнт K визначається величиною $(\partial^4 t / \partial x^4)$. Як бачимо, похибка розрахунку по координаті буде в основному меншою 1% при розбитті стінки на 10 шарів [1].

Тоді

$$t_j^{n+1} = 0,5t_j^n + 0,25(t_{j-1}^n + t_{j+1}^n) \quad (1)$$

$$Bi_{c1} = \alpha_1 \cdot \frac{\Delta x}{\lambda}; \quad (2)$$