

рекомендовать для использования фотограмм, например, для обработки серии фотографий, или же использовать на этапе допечатной подготовки для ускорения и облегчения процесса обработки изображений при подготовке оригинал-макетов полиграфической продукции. Особенно это актуально при изготовлении рекламной продукции, для которой обрабатывают большой объем разнообразных изображений, в частности для рекламных каталогов.

Литература

1. Sharma, G. The Digital Color Imaging Handbook [Text] / G. Sharma. — New York: CRC Press, 2003. — 764 p.
2. Chebotareva, I. Digital image quality evaluation adapted to structure of the open printing system [Text] / Irina Chebotareva, Natalia Gurieva // 15 International Conference on Printing, Design and Graphic Communications, Senj, 21st — 24th September 2011, Croatia. — 2011. — pp. 301–307.
3. Фрэйзер, Б. Управление цветом. Искусство допечатной подготовки : пер. с англ. / Б. Фрэйзер, К. Мэрфи, Ф. Бантинг. — К.: ООО «ТИД «ДС», 2003. — 464 с.
4. Шашлов, Б. А. Цвет и цветовоспроизведение / Б. А. Шашлов. — М.: МГУП, 2003. — 180 с.
5. Margulis, D. Photoshop LAB Color: The Canyon Conundrum and Other Adventures in the Most Powerful Colorspace / D. Margulis. — CA: Peachpit Press Berkeley, 2005. — 384 p.
6. Кузнецов, Ю. В. Технология обработки изобразительной информации [Text] / Ю. В. Кузнецов. — СПб.: Петербургский институт печати, 2002. — 244 с.
7. Айсманн, К. Энциклопедия цифровой фотографии Кэтрин Айсманн. Ретуширование и восстановление фотографий [Текст] / К. Айсманн. — М.: Вильямс, 2011. — 576 с.
8. Кларк, М. Т. Фильтры для Photoshop 5. Спецэффекты и дизайн [Текст] / М. Т. Кларк. — М.: Диалектика, 1999. — 384 с.
9. Пожарская, С. Фотомастер. Книга о фотографах и фотографии [Текст] / С. Пожарская. — М.: Пента, 2001. — 336 с.
10. Артюхова, А. А. Способы автоматизации обработки цифровых оригиналов с дефектами [Текст] : матер. III заоч. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Омск, 28–30 мая 2013 г. / науч. ред. С. Н. Литинов, отв. ред. И. А. Сысуев // Полиграфия: технология, оборудование, материалы. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. — 140 с.

МОЖЛИВОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ПОРТРЕТІВ

У статті представлені алгоритми дій для ретушування цифрових портретів і варіанти автоматизації цих дій, досліджено вплив умов зйомки та характеристик фотоапарата, з якого взято знімок, на різні параметри процедур автоматизації. Виділено основні дефекти, які виникають при роботі з портретами.

Ключові слова: ретушування, портрет, автоматизація, алгоритми, дефекти, поліграфія, фотографія, сканування, цифрова обробка.

Чеботарева Ірина Борисівна, доцент, кафедра Медіасистеми і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Захарченко Вероніка Володимирівна, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна, e-mail: miss.mill@mail.ru.

Чеботарьова Ірина Борисівна, доцент, кафедра Медіасистеми і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Захарченко Вероніка Володимирівна, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Chebotareva Irina, Kharkov National University of Radio Electronics, Ukraine.

Zakharchenko Veronika, Kharkov National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: miss.mill@mail.ru

УДК 621.314.222.6

Ільїн С. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ТА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В РАДІАТОРНІЙ СИСТЕМІ ОХОЛОДЖЕННЯ МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Розглядаються теплообмінні та гідродинамічні процеси, які мають місце в радіаторах систем охолодження силових трансформаторів при відведенні теплоти від масла до навколишнього середовища. Описується експериментальна установка, створена для проведення досліджень. Проводиться порівняння результатів, отриманих експериментальним шляхом з результатами математичного моделювання.

Ключові слова: коефіцієнт тепловіддачі, силовий трансформатор, радіатор системи охолодження, швидкість течії масла

1. Вступ

На сьогоднішній день проблеми організації ефективного відводу тепла від активної частини масляних трансформаторів при мінімальних витратах на електроенергію та обладнання є одними з ключових в галузі. Відвід теплоти від трансформаторного масла здійс-

нюється в радіаторах. Завдяки процесам, що мають місце в радіаторній системі охолодження, вдається досягти температури масла на вході в обмотку трансформатора, яка дозволяє організувати ефективний відвід теплоти від міді котушок для подальшої передачі її навколишньому середовищу.

2. Постановка проблеми

Для більш повного аналізу характеру руху охолоджуючої рідини по основному контуру було проведено дослідження процесу тепловіддачі в охолоджувальному радіаторі. Необхідність вивчення теплообмінних процесів в радіаторі трансформатора обумовлено тим, що саме від ефективності роботи системи охолодження буде залежати температура масла на вході в обмотку.

3. Аналіз основних досліджень та публікацій з даної проблеми

Основи виконання теплового розрахунку радіаторів охолодження та силових трансформаторів в цілому закладені Л. Кішем [1] та Г. Готтером [2]. Проте на сьогоднішній день не існує достовірних досліджень теплових процесів в радіаторі системи охолодження, викладених в літературі, які б враховували потужність трансформатора та геометрію охолоджуючих каналів в його обмотках [3–7].

На сучасному етапі розвитку вітчизняного трансформаторобудування, в умовах зростання цін на метал, а також зростання цін на транспорт, все більш гостро стоїть проблема зниження габаритів електричних машин [8]. Великий інтерес представляє можливість експлуатації трансформаторів з шириною каналів обмоток менше 3 мм і природною циркуляцією охолоджуючої середовища [9, 10]. При цьому необхідно дотримуватися температурного режиму. А отже, виникає необхідність дослідити теплообмінні та гідродинамічні процеси в радіаторі системи охолодження силового трансформатора.

4. Результати досліджень

Для дослідження теплових процесів в радіаторі силового трансформатора була створена експериментальна установка, яка відображена на рис. 1 та рис. 2.

Установка являє собою модель однієї секції реального радіатора силового трансформатора.

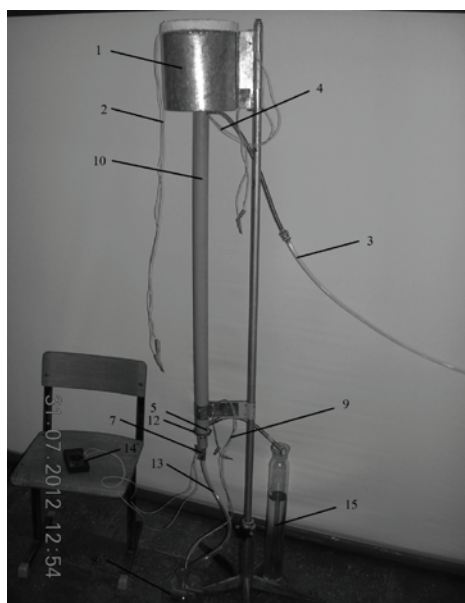


Рис. 1. Установка для дослідження теплообмінних процесів в радіаторі трансформатора

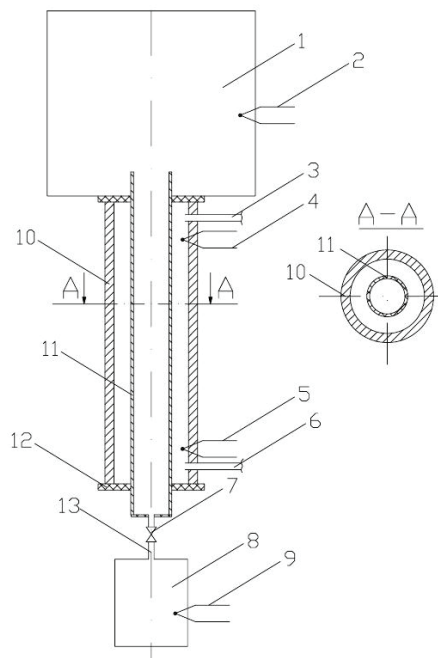


Рис. 2. Схема установки для дослідження теплообмінних процесів в радіаторі трансформатора

В якості схеми руху теплоносіїв в установці обрано прямоток. Теплоносієм, що гріє теплообмінник, — трансформаторне масло Т-1500, що було в використанні, в кількості $V_M = 1750$ мл, теплоносієм, який підігрівається, — вода. Розігріте трансформаторне масло знаходиться в ємності 1, яка покрита шаром утеплювача. Ємність з'єднана з мідною трубою 11, всередині якої протікає розігріте масло. Зовнішній діаметр труби 11 складає $d_M^{нар} = 20$ мм, внутрішній $d_M^{вн} = 16,5$ мм її довжина $L_M = 950$ мм. Канал для протікання охолоджуючої води утворений пластиковою трубою 10. Її зовнішній діаметр становить $d_n^{нар} = 40$ мм, внутрішній — $d_n^{вн} = 27$ мм. Труба 11 відцентрована в 10 за допомогою шайб 12. Витрата масла через установку регулюється кутом, на який відкрито шаровий кран 7, який приєднано до нижньої частини мідної труби.

Основними параметрами для дослідження теплообмінних процесів в установці є витрати масла та води та їх температури на вході та виході з установки.

Температура розігрітого масла вимірюється терморпарою 2, що розташована в ємності 1; охолодженого масла — терморпарою 9 в ємності 8. Температура води на вході в установку вимірюється терморпарою 4, а на виході — 5. Терморпари підключаються до цифрового мультиметра 14.

Масло розігрівається до температури 70–80 °С, що відповідає температурі охолоджуючого середовища на вході в радіатор силового трансформатора.

Результати, які були отримані під час проведення експерименту зведені до табл. 1.

Витрата масла через установку в експерименті № 1 становить

$$G_M = \frac{V_M}{\tau_M} = \frac{1,75}{60} = 0,03 \text{ л/с.}$$

Перепад температур на вході в теплообмінник позначено

$$\Delta t_{вх} = t_M^{вх} - t_B^{вх}, \quad (1)$$

а на виході з нього

$$\Delta t_{\text{вих}} = t_{\text{М}}^{\text{вих}} - t_{\text{В}}^{\text{вих}}. \quad (2)$$

Таблиця 1

Температури масла і води на вході та виході з експериментальної установки

Номер експерименту	Температура масла на вході в установку $t_{\text{М}}^{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$	Температура масла на виході з установки $t_{\text{М}}^{\text{вих}}, ^\circ\text{C}$	Температура води на вході в установку $t_{\text{В}}^{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$	Температура води на виході з установки $t_{\text{В}}^{\text{вих}}, ^\circ\text{C}$
1	77	58	22	28
2	75	53	22	29
3	72	43	21	25
4	71	50	22	27
5	70	48	22	25
6	73	45	22	26

В експерименті № 1 $\Delta t_{\text{вх}} = 77 - 22 = 55 ^\circ\text{C}$,
 $\Delta t_{\text{вих}} = 58 - 28 = 30 ^\circ\text{C}$.

Середній температурний напір дорівнює

$$\Delta t_{\text{прям}} = \frac{\Delta t_{\text{вх}} - \Delta t_{\text{вих}}}{2,31g} \frac{\Delta t_{\text{вх}}}{\Delta t_{\text{вих}}}. \quad (3)$$

$$\text{В експерименті № 1 } \Delta t_{\text{прям}} = \frac{55 - 30}{2,31g} \frac{55}{30} = 41,34 ^\circ\text{C}.$$

Тепловий баланс для першого експерименту має вигляд:

$$\Delta Q_{\text{М}} = \Delta Q_{\text{В}}, \quad (4)$$

де $\Delta Q_{\text{М}}$ — кількість теплоти, яка віддається маслом в теплообміннику, Дж/кг; $\Delta Q_{\text{В}}$ — кількість теплоти, яка приймається маслом в теплообміннику, Дж/кг.

Кількість теплоти залежить від теплоємності речовини (c), її витрати (G) та температурного градієнту (Δt). Отже

$$G_{\text{М}} \cdot c_{\text{М}} \cdot \Delta t_{\text{М}} = G_{\text{В}} \cdot c_{\text{В}} \cdot \Delta t_{\text{В}}. \quad (5)$$

Звідки теплоємність масла дорівнює

$$c_{\text{М}} = \frac{G_{\text{В}} \cdot c_{\text{В}} \cdot \Delta t_{\text{В}}}{G_{\text{М}} \cdot \Delta t_{\text{М}}}. \quad (6)$$

Для першого експерименту теплоємність масла становить:

$$c_{\text{М}} = \frac{60/40 \cdot 4200 \cdot (28 - 22)}{1,750 \cdot (77 - 58)} = \frac{37800}{33,25} \approx 1136 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}),$$

що є близькою до нормативних значень (до 1500 Дж/(кг·К)), враховуючи значне забруднення експериментального масла в процесі використання.

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони масла становить

$$\alpha_{\text{М}} = \frac{\Delta Q_{\text{М}}}{F_{\text{М}} \tau_{\text{М}} \Delta t_{\text{М}}}, \quad (7)$$

де $F_{\text{М}}$ — площа теплообмінника з боку масла, м^2 ,

$$F_{\text{М}} = \pi d_{\text{М}}^{\text{нар}} L_{\text{М}} = 3,14 \cdot 0,02 \cdot 0,95 \approx 0,06 \text{ м}^2,$$

$\Delta t_{\text{М}}$ — перепад температури масла в теплообміннику.

Підставивши (6) в (7) отримаємо:

$$\alpha_{\text{М}} = \frac{G_{\text{М}} c_{\text{М}} \Delta t_{\text{М}}}{F_{\text{М}} \tau_{\text{М}} \Delta t_{\text{М}}} = \frac{G_{\text{М}} c_{\text{М}}}{F_{\text{М}} \tau_{\text{М}}}. \quad (8)$$

Перепад температури масла в теплообміннику $\Delta t_{\text{М}}$ присутній і в чисельнику і в знаменнику, отже, його можна скоротити. Однак, зважаючи на те, що $\Delta t_{\text{М}}$ впливає на значення теплоємності $c_{\text{М}}$, то можна стверджувати, що коефіцієнт тепловіддачі на границі «масло — охолоджуюча рідина» знаходиться в залежності від перепаду температури масла в теплообміннику.

Отже, для експерименту № 1

$$\alpha_{\text{М}} = \frac{G_{\text{М}} c_{\text{М}}}{F_{\text{М}} \tau_{\text{М}}} = \frac{0,03 \cdot 1136}{0,06 \cdot 60} = 9,47 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}).$$

Отримані результати для інших експериментів зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахункові значення коефіцієнту тепловіддачі масла

Номер експерименту	Витрата масла $G_{\text{М}}, \text{л/с}$	Перепад температур на вході $\Delta t_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$	Перепад температур на виході $\Delta t_{\text{вих}}, ^\circ\text{C}$	Середній температурний напір $\Delta t_{\text{прям}}, ^\circ\text{C}$	Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{\text{М}}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$
1	0,03	55	30	41,34	9,47
2	0,029	53	24	36,65	9,19
3	0,0092	51	18	31,72	3,44
4	0,019	49	23	34,42	5,92
5	0,02	48	23	34,02	6,05
6	0,028	51	19	32,44	3,84

Для перевірки отриманих результатів була створена чисельна модель, яка вирішувалась методом кінцевих елементів. Геометрія моделі збігається з відповідними параметрами експериментального теплообмінника (рис. 1). Циркуляція масла в моделі та в експериментальній установці — природня.

Результати розрахунків представлені на рис. 3 та рис. 4. Температура масла на вході біла задана 80 °С (рис. 3). Температура охолоджуючої рідини складає 22 °С. В результаті проведених розрахунків було отримано значення температури масла на виході з радіатора, яке становило приблизно 322 К або 49 °С. Таким чином, отримано температурний градієнт масла на вході та виході з моделі в 31 °С.

На рис. 4 приведені результати розрахунків полів швидкостей течії масла в каналі радіатора трансформатора. Швидкість течії масла є практично незмінною уздовж довжини каналу та коливається в діапазоні від 0,22 м/с до 0,5 м/с. Розрахункова швидкість течії масла є найбільш наближеною до результатів, що були отримані в експерименті 3.

Отже умови проведення саме цього експерименту можна вважати такими, що в значній мірі відповідають умовам моделювання.

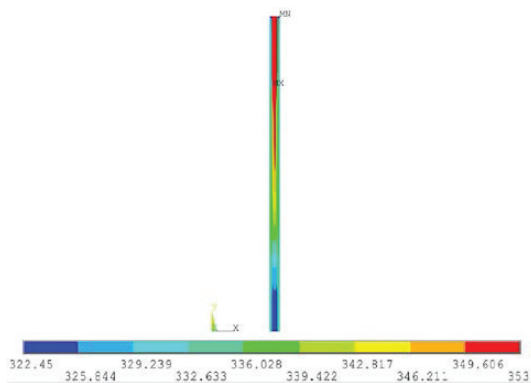


Рис. 3. Поле температуры масла (К) в радиаторі

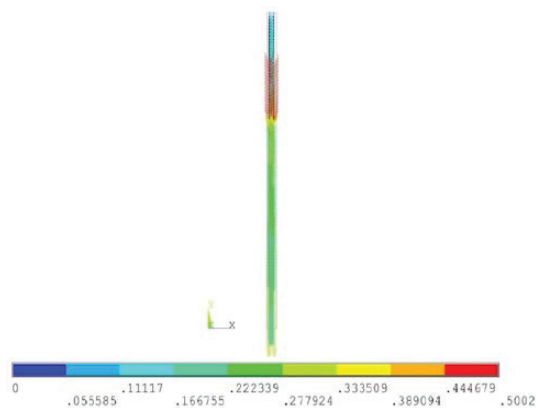


Рис. 4. Поля швидкостей (м/с) масла в радиаторі

Розрахункові та експериментальні значення температур масла в радіаторі для всіх експериментів зведено в табл. 3. Розраховані абсолютні та відносні похибки отриманих результатів.

Таблиця 3

Розрахункові та експериментальні значення температур масла в радіаторі

Номер експерименту	Експериментальний градієнт температури масла, °С	Розрахунковий градієнт температури масла, °С	Абсолютна похибка вимірювань, °С	Відносна похибка вимірювань, %
1	19	31	12	63,15
2	22	31	9	40,9
3	29	31	2	6,9
4	21	31	10	47,6
5	22	31	9	40,9
6	28	31	3	9,64

Таким чином, найбільш наближений до розрахункового температурний градієнт був отриманий в експерименті 3. Це означає, що саме в цьому експерименті вдалося досягти значення витрати масла через радіатор, яке в значній мірі відповідає розрахунковому.

5. Висновки

Описано створені фізичну та чисельну моделі секції трансформаторного радіатора. Порівняно отриману експериментальним шляхом величину градієнту темпе-

ратури масла в моделі з розрахунковою, яку отримано методом кінцевих елементів. Оцінені абсолютна та відносна похибки вимірювань. Встановлено, що експеримент 3 в найбільшій мірі відповідає умовам чисельного моделювання. Отже, експеримент 3 в найбільшій мірі відтворює теплові процеси в секції радіатора при невимушеній циркуляції в ній масла.

Виходячи з експериментальних даних, були розраховані значення середнього температурного напору, коефіцієнту тепловіддачі зі сторони масла, перепаду температур на вході та виході з моделі, перепаду температур масла, швидкості течії масла, кількості теплоти, яка віддається маслом та витрати масла через модель секції масляного радіатора системи охолодження силового трансформатора.

Література

1. Киш, Л. Нагрев и охлаждение трансформаторов. Серия «Трансформаторы». Выпуск 36 [Текст] : пер с венгерского / Л. Киш. — М.: Энергия, 1980. — 208 с.
2. Готтер, Г. Нагрев и охлаждение электрических машин [Текст] : пер. с англ. / Г. Готтер. — М.: Энергоиздат, 1956. — 480 с.
3. Копылов, И. П. Электрические машины: Трансформаторы [Текст] : учебное пособие для электромех. спец. вузов / И. П. Копылов. — М.: Высш. шк., 1989. — 352 с.
4. Любчик, М. А. К расчету температурного поля в катушках электрических устройств [Текст] / М. А. Любчик // Труды ХПИ. — 1960. — Вып. 30, № 1. — С. 73–87.
5. Петров, Г. Н. Температурное поле в обмотках трансформатора [Текст] / Г. Н. Петров // Изв. АН СССР: Энергетика и транспорт. — 1975. — № 1. — С. 78–81.
6. Рассальский, А. Н. Расчет максимальной температуры катушечных обмоток трансформаторов [Текст] / А. Н. Рассальский, В. А. Машкин, Ю. А. Михайловский // Электричество. — 1981. — № 8. — С. 45–47.
7. Козлов, В. В. Расчет максимальной температуры обмоток силовых трансформаторов методом конечных элементов [Текст] / В. В. Козлов // Электротехника і електромеханіка. — 2003. — № 1. — С. 49–52.
8. Лизунов, С. Д. Проблемы современного трансформаторостроения в России [Текст] / С. Д. Лизунов, А. К. Лоханин. — М.: Электричество, 2000. — 54 с.
9. Ільїн, С. В. Дослідження методів зниження витрат матеріалів у галузі трансформаторобудування [Текст] / С. В. Ільїн, І. Г. Яковлева, М. С. Мальований // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 2. — С. 139–142.
10. Ільїн, С. В. Способи інтенсифікації процесів відводу теплоти від котушок дискових обмоток трансформатора [Текст] / С. В. Ільїн // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». — 2012. — № 33. — С. 99–102.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАДИАТОРНОЙ СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Рассматриваются теплообменные и гидродинамические процессы, которые имеют место в радиаторах систем охлаждения силовых трансформаторов при отводе теплоты от масла к окружающей среде. Описывается экспериментальная установка, созданная для проведения исследований. Проводится сравнения результатов, полученных экспериментальным путем с результатами математического моделирования.

Ключевые слова: коэффициент теплоотдачи, силовой трансформатор, радиатор системы охлаждения, скорость течения масла.

Ільїн Сергій Віталійович, асистент, кафедра теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія, Україна, e-mail: svizp@mail.ru.

Ільїн Сергей Витальевич, ассистент, кафедра теплоэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия, Украина.

Ilyin Sergey, Zaporozhye State Engineering Academy, Ukraine, e-mail: svizp@mail.ru