

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПОГРУЖНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Динь Конг Кюи

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время наблюдается увеличение потребности использования телеуправляемых подводных аппаратов в целях повышения эффективности исследования и добычи минеральных ресурсов и проведения научных работ в океанах. Автономные системы электропитания (СЭП) телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА) перестают отвечать предъявляемым к ним требованиям и постепенно заменяются СЭП, обеспечиваемыми судном. Важнейшим звеном СЭП ТПА при передаче энергии на переменном токе по кабель-тросу является погружной трансформатор (ПТ). Он составляет основную часть массы и габаритов СЭП. Совершенствование ПТ повышает эффективность работы СЭП ТПА, в связи с чем выбор оптимальных параметров трансформатора является актуальной задачей [1, 2]. Решение задачи определения оптимальных параметров требует применения достоверных математических моделей описания физических (в том числе тепловых) процессов.

При анализе и расчете тепловых режимов трансформаторов на практике применяются поверочные, аналитические и численные методы.

В поверочных методах используются экспериментальные зависимости коэффициента теплоотдачи от мощности элементов $\alpha = f(P)$, постоянной времени нагрева от массы элемента $T = f(G)$ и превышения температуры обмоток от удельной поверхностной нагрузки $\theta_{II} = f(q)$. При заданной мощности элемента по одной или нескольким из указанных зависимостей можно определить электрические и конструктивные данные элемента при заданном температурном режиме. Основным недостатком этих методов является низкая точность тепловых расчетов, что ограничивает сферу их применения.

В тех случаях, когда необходимо рассматривать влияние различных факторов на распределение температуры в конструкции или исследуются тепловые режимы новых конструкций трансформаторов применяются аналитические методы [3].

Аналитический метод, основанный на сложении температурных полей и принципе суперпозиции температурных полей, позволяет получить приближенное аналитическое описание процессов теплоотдачи в трансформаторах [3, 4]. В результате расчета находятся температуры отдельных частей трансформатора. Погрешность метода составляет 15% [4].

Метод электротепловых аналогий использует формальную аналогию между процессами переноса тепла и электричества. В соответствии с этим методом распределенные тепловые параметры трансформатора заменяются сосредоточенными. Затем составляется схема замещения, эквивалентная в тепловом отношении реальной конструкции. Для схемы замещения можно составить систему алгебраических уравнений на основе законов Кирхгофа, решение которой позволяет установить связь между температурами, тепловыми потоками и тепловыми сопротивлениями для узловых точек схемы (катушки и сердечника). Погрешность метода уменьшается с увеличением числа узловых точек в эквивалентной тепловой схеме [3].

С появлением быстродействующих ЭВМ развитие получили численные методы расчета – методы конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ). Они позволяют учитывать реальные, зависящие от температуры, свойства, рассматривать достаточно сложные по виду области расчета и выполнять расчеты без тех допущений,

которые принимались при исследовании полей аналитическими методами. Наиболее широкое применение МКР получил в расчетах стационарных и квазистационарных электромагнитных полей. Основным недостатком МКР является медленная сходимость и, как следствие, высокие затраты машинного времени. В последнее время наряду с МКР все чаще используется МКЭ. Кроме более точной аппроксимации геометрии и более точного описания изменения расчетных величин, МКЭ предоставляет следующие преимущества по сравнению с МКР [5]:

- рассматриваемая геометрия может быть любой, поскольку она определяется независимо от компьютерной программы;
- возможность определения расчетных параметров в любой точке рассматриваемой области;
- поскольку уравнения МКЭ решаются одновременно, существует возможность учесть все взаимодействия, имеющие место в системе, с высокой степенью гибкости и точности

Среди недостатков метода можно выделить следующие [5]:

время, необходимое для расчета, и требования к аппаратным средствам компьютера и объему носителей информации в несколько раз превышают аналогичные требования для МКР;

от пользователя требуется более глубокое понимание сущности данного метода.

На основе МКЭ сотрудниками компании ООО «Тор» разработана компьютерная программа ELCUT, которая представляет собой мощный современный комплекс программ для инженерного моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач методом конечных элементов.

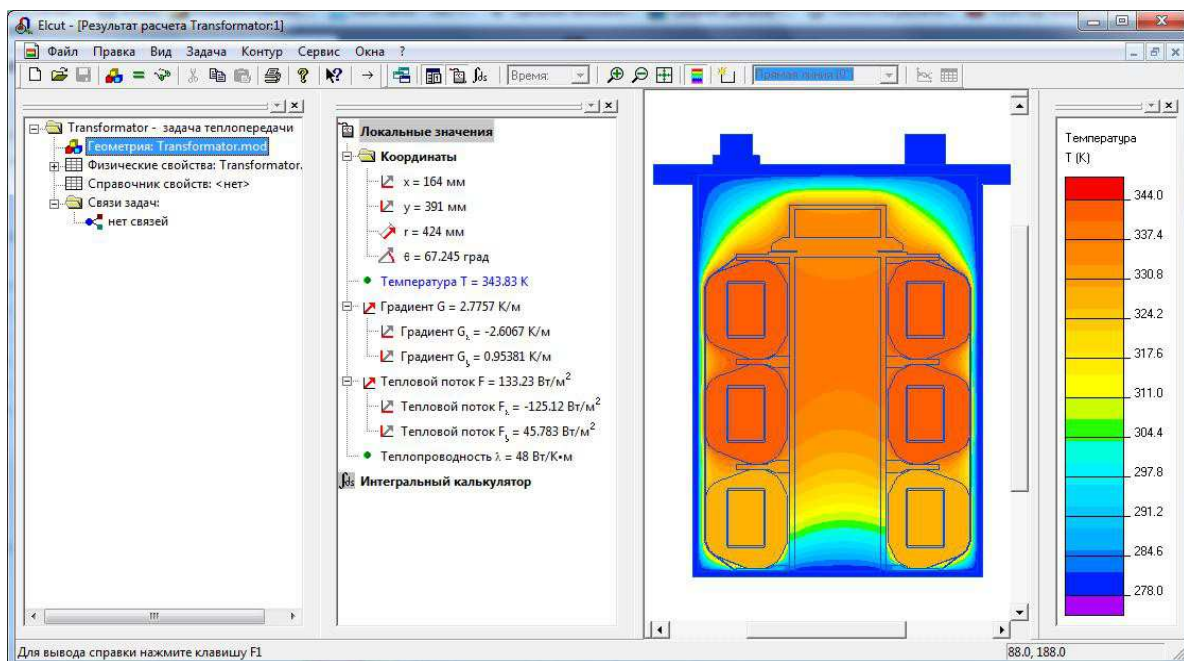


Рис. 1. Результат расчета температурных полей в ELCUT

Алгоритм решения температурных полей трансформатора заключается в следующем:

1. Выбор типа и класса решаемой задачи и настройка сетки. Выбирается тип задачи – температурное поле; класс задачи – осесимметричная. Шаги сетки по горизонтали и вертикали – 10мм.
2. Создание геометрической модели. Чертеж трансформатора выполнен в программе T-FLEX. После импорта чертежа в ELCUT необходимо его переработать, так как в программе ELCUT не воспринимаются кривые линии.
3. Ввод теплофизических коэффициентов материалов: теплопроводность, удельная теплоёмкость, плотность.
4. Расчет и ввод объема плотности тепловыделения обмоток и магнитопровода.
5. Расчет и ввод граничных условий: температуры границ, тепловой поток и коэффициент теплоотдачи.
6. Построение сетки конечных элементов.
7. Решение задачи, в результате которого получается картина распределения температурного поля – в любой точке известны значения температуры, градиента и теплового потока.

На рис. 1 представлена картина теплового поля погружного трансформатора тороидальной конструкции, полученная в результате расчета в программной среде ELCAD.

Закключение:

Анализ методов теплового расчета трансформаторов показал, что наиболее приемлемым методом при оптимизации параметров погружного трансформатора является метод конечных элементов.

Разработанная модель расчета теплового поля обеспечивает высокую точность расчета и может быть использована для решения задач оптимизации погружного трансформатора – выбора конструкции, материалов и геометрических размеров при заданных ограничений для температур отдельных элементов..

ЛИТЕРАТУРА

1. Рулевский В.М. Системы электропитания телеуправляемого подводного аппарата большой энерговооруженности: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03 – Томск, 2006 – 20с.
2. Noirhomme, B., Cote, J. Evaluation of underground submersible distribution transformers through oil analysis // Electrical Insulation (ISEI) Conference Record of the 2012 IEEE International Symposium on. – 2012. – С. 217-222.
3. Белопольский, Е.И. Каретинкова, Л.Г. Пикалова. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. 3-у изд., стереотирное. – М.: «ИД Альянс», 2008. – 400с.: ил.
4. Лукашенко С.В. Разработка математических моделей и алгоритмов тепловых расчетов при автоматизированном проектировании трансформаторов малой мощности: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.01 – Оренбург, 1996 – 19с.
5. <http://msd.com.ua/ekstruzionnye-golovki-dlya-plastmass-i-reziny/sravnenie-metodov-konechnyx-raznostej-i-konechnyx-elementov/>