

Л.П. ГАЛАЙКО, канд.техн.наук,
Н.А. ГАЕВСКАЯ

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ И КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статті розглядається питання використання методів еквівалентних теплових схем та кінцевих елементів для теплового розрахунку вентильно-індукторного двигуна пральної машини малої потужності. Результати розрахунку обома методами відрізняються незначно, але трудомісткість методу кінцевих елементів при використанні пакета прикладних програм значно менша.

В статье рассматривается вопрос использования метода эквивалентных тепловых схем замещения и метода конечных элементов для теплового расчета вентильно-индукторного двигателя стиральной машины малой мощности. Результаты расчета обоими методами отличаются незначительно, однако трудоемкость метода конечных элементов при использовании пакета прикладных программ существенно меньше.

Введение. Вентильно-индукторные двигатели (ВИД) называют двигателями 21 века. Для их проектирования широко используются пакеты прикладных программ, такие как FEMM, Ansys, Elcut и другие, прежде всего для электромагнитных расчетов и для расчета вибраций с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Практически отсутствуют публикации по применению пакетов программ с МКЭ для теплового расчета ВИД.

Целью статьи является рассмотрение вопроса о целесообразности применения МКЭ для теплового расчета ВИД. Расчет проведен для ВИД стиральной машины малой мощности $P = 90$ Вт, спроектированной на базе асинхронного конденсаторного двигателя. Результаты расчета с помощью МКЭ сравнивались с результатами расчета методом эквивалентных тепловых схем замещения (ЭТС). Далее подробно описаны расчеты обоими методами.

Метод эквивалентных тепловых схем.

ВИД для стиральной машины является самовентилируемой машиной защищенного исполнения. Поэтому рассматриваем тепловое состояние статора независимо от ротора. Принимаем допущение: условия охлаждения для катушки в межполюсных окнах и на торцах одинаковые, поэтому катушку представляем как один активный элемент. ЭТС одного полюса статора приведена на рис 1.

Здесь K – катушка; Π – полюс статора; $Я$ – ярмо статора; ϑ_{10} – базовая температура на наружной поверхности ярма; ϑ_{20} – базовая температура внутри машины; $R_{к0}$ $R_{п0}$ $R_{пк}$ $R_{як}$ $R_{ял}$ $R_{я0}$ – тепловые сопротивления, учитывающие

передачу тепла теплопроводностью и конвекцией.

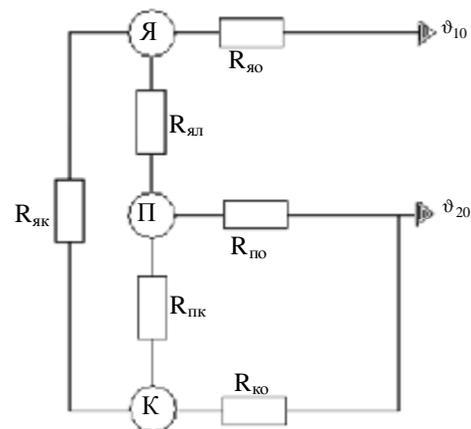


Рис. 1. ЭТС статора ВИД стиральной машины

Для их расчета приняты следующие теплофизические параметры: теплопроводность стали вдоль пластин $\lambda_{ст} = 20 \frac{Вт}{м \times ^\circ C}$, поперек пластин $\lambda_{ст} = 4 \frac{Вт}{м \times ^\circ C}$, теплопроводность изоляции $\lambda_{из} = 0,16 \frac{Вт}{м \times ^\circ C}$, эквивалентная теплопроводность многовитковой катушки $\lambda_{эkv} = 1,4 \frac{Вт}{м \times ^\circ C}$,

коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности ярма $\alpha = 14 \frac{Вт}{м^2 \times ^\circ C}$, ко-

эффициент теплоотдачи с внутренних поверхностей статора $\alpha = 30 \frac{Вт}{м^2 \times ^\circ C}$.

Теплофизические параметры определялись с помощью учебника [1]. Электрические потери в катушке $P_k = 3,78$ Вт, магнитные потери в полюсе $P_n = 0,109$ Вт, магнитные потери в ярме $P_y = 0,7$ Вт определены в электромагнитном расчете, проведенном на ЭВМ.

Запишем систему уравнений для схемы замещения рис. 1:

$$\begin{aligned} \Lambda_k \vartheta_k - \Lambda_{кп} \vartheta_n - \Lambda_{кя} \vartheta_y &= P_k^c; \\ - \Lambda_{кп} \vartheta_k + \Lambda_n \vartheta_n - \Lambda_{ня} \vartheta_y &= P_n^c; \\ - \Lambda_{кя} \vartheta_k - \Lambda_{ня} \vartheta_n - \Lambda_y \vartheta_y &= P_y^c, \end{aligned}$$

где $\Lambda_k = \Lambda_{кп} + \Lambda_{кя} + \Lambda_{к0}$; $\Lambda_n = \Lambda_{кп} + \Lambda_{ня} + \Lambda_{н0}$; $\Lambda_y = \Lambda_{кя} + \Lambda_{ня} + \Lambda_{я0}$; $P_k^c = P_k + \Lambda_{к0} \vartheta_{10}$; $P_n^c = P_n + \Lambda_{н0} \vartheta_{20}$; $P_y^c = P_y + \Lambda_{я0} \vartheta_{20}$;

Результаты расчетов тепловых проводимостей сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Тепловые проводимости.

$\Lambda_{кп}$	$\Lambda_{кя}$	$\Lambda_{ня}$	$\Lambda_{к0}$	$\Lambda_{н0}$	$\Lambda_{я0}$	Λ_k	Λ_n	Λ_y
0,433	0,0149	2,15	0,0459	0,00929	0,043	0,4938	2,59	2,21

Результаты расчета приведенных потерь сведены в табл. 2.

Таблица 2 – Приведенные потери.

P'_k	P'_n	P'_y
--------	--------	--------

В результате решения системы трех уравнений получены результаты: $v_k = 95^\circ\text{C}$, $v_n = 91,14^\circ\text{C}$, $v_y = 90,4^\circ\text{C}$.

Метод конечных элементов.

Для теплового расчета методом конечных элементов был использован пакет программ Elcut. Расчетная область с разбивкой на треугольные элементы приведена на рис.2. Триангуляция проводилась автоматически, было получено следующее число элементов: в катушке – 4434, в изоляции катушки – 732, в ярмовой изоляции – 155, в полюсе – 503, в ярме – 303. Для расчета были использованы те же теплофизические параметры и потери, что и в методе ЭТС. Результаты расчета приведены на рис. 3.

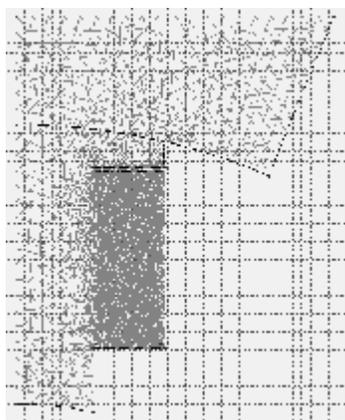


Рис.2. Расчетная область ВИД с триангуляцией

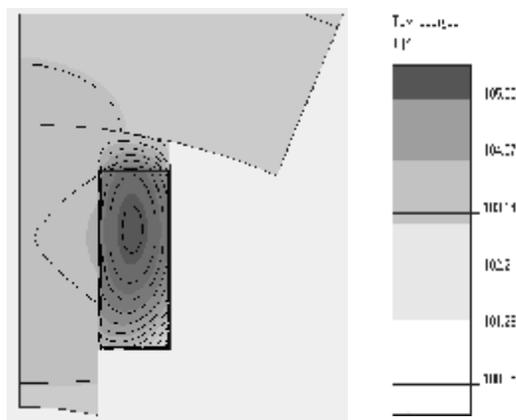


Рис.3. Температурное поле и шкала температур

По методу конечных элементов получены результаты: $v_k = 105^\circ\text{C}$, $v_n = 100^\circ\text{C}$, $v_y = 100^\circ\text{C}$.

Выводы:

1. Отличие результатов расчета методом МКЭ от результатов методом ЭТС находится в пределах инженерной точности.
2. Время, затраченное на расчет с применением МКЭ, существенно меньше времени, затраченного на расчет с применением ЭТС.

Список литературы: 1. Копылов И.П., Горяинов Ф.А. и др. Проектирование электрических машин: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.

Поступила в редколлегию 22.05.08.

А.В. ГЕТЬМАН, канд. техн. наук

ОБОБЩЕННЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Пропонується аналітичний метод дослідження просторової структури магнітного поля технічних об'єктів, що дозволяє враховувати їхні геометричні параметри. Для наближення області практичного застосування методу до поверхні технічних об'єктів використаний математичний апарат різних типів просторових гармонік: витягнуто-сфероїдальних, сферичних і сплюснуто-сфероїдальних.

Предлагается аналитический метод исследования пространственной структуры магнитного поля технических объектов, позволяющий учитывать их геометрические параметры. Для приближения области практического применения метода к поверхности технических объектов использован математический аппарат разных типов пространственных гармоник: вытянуто-сфероидальных, сферических и сплюснуто-сфероидальных.

Введение. Современные тенденции развития науки и техники – увеличение энергонасыщенности объектов энергетики, повышение плотности монтажа высоко-технологического оборудования в космической [1] и авиационной отраслях – привели к обострению проблемы магнитной совместимости оборудования и отдельных его частей и блоков. Это отрицательно сказалось на надежности его эксплуатации [2]. Поэтому для обеспечения надежности функционирования оборудования требования к величине магнитного поля (МП) устанавливаются на минимальном расстоянии от поверхности технического объекта (ТО). Например, стандарт Европейского космического агентства ECSS-E-20A ограничивает величину магнитной индукции оборудования и блоков космических аппаратов на расстоянии 0,1 м от их поверхности. Сложность практического решения современных задач по магнитной совместимости обусловлена с одной стороны необходимостью измерения пространственного распределения магнитного поля вблизи поверхности технических объектов разнообразной геометрической формы, а из другой – ограниченными возможностями существующих методов и средств исследования магнитного поля вблизи технических объектов с учетом геометрии последних [3, 4].

Одним из возможных путей решения аналогичных задач в судовом магнетизме являются методы анализа магнитного поля, представленного в виде ряда пространственных гармоник [5, 6].

Однако, в связи с определенными ограничениями практического использования модели пространственных гармоник МП в местах протекания электрического тока, для ее математически корректного применения вблизи повер-