

Свободные поверхностные энергии двух контактирующих полимерных материалов определяются главным образом дисперсионной γ^d и полярной γ^h составляющими:

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^h$$

Авторами Каган Д.Ф., Гуль В.Е. предложено определение γ_S , γ_L из системы уравнений (2) и γ_{LS} из уравнения(3)

$$\begin{cases} \gamma_{\text{вода}} = 2\left(\sqrt{\gamma_{S(L)}^d \gamma_{L\sigma}^d} + \sqrt{\gamma_{S(L)}^h \gamma_{L\sigma}^h}\right) \\ \gamma_{\text{глиц}} = 2\left(\sqrt{\gamma_{S(L)}^d \gamma_{L\epsilon}^d} + \sqrt{\gamma_{S(L)}^h \gamma_{L\epsilon}^h}\right) \end{cases} \quad (2)$$

$$\gamma_{LS} = \gamma_L + \gamma_S - 2\sqrt{\gamma_{LS}^d \cdot \gamma_{SS}^d} + 2\sqrt{\gamma_{LS}^h \cdot \gamma_{SS}^h} \quad (3)$$

где, $\gamma_{\text{вода}}$, $\gamma_{\text{глиц}}$ – энергия смачивания воды и глицерина к компонентам системы межвитковой изоляции; $\gamma_{L\sigma}^d$, $\gamma_{L\epsilon}^d$, $\gamma_{L\sigma}^h$, $\gamma_{L\epsilon}^h$ – справочные данные дисперсионных и полярных составляющих свободных поверхностных энергий воды и глицерина [3].

Подставляя полученные результаты в уравнение 1, находим W_a .

Сопоставление величин W_a и скоростей дефектообразования для исследуемых систем межвитковой изоляции показало: с увеличением работы адгезии увеличивается скорость дефектообразования [3,4]. Это связано с увеличением вероятности развития сквозного дефекта в системе «пропиточный состав – эмалированный провод».

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

1. Определение технологической устойчивости эмалированных проводов в электролите позволяет получить полную информацию о качестве провода на всей длине и оценить стойкость изоляции к технологическим нагрузкам.

2. Целесообразность совместного использования компонентов межвитковой изоляции можно определять с учетом W_a . Это дает возможность прогнозировать скорость дефектообразования H_e в композициях «пропиточный состав – эмалированный провод».

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р МЭК 60851-3 – 2002. Провода обмоточные. Методы испытаний. Часть 3. Механические свойства.
2. ГОСТ Р МЭК 60851-5 – 2008. Провода обмоточные. Методы испытаний. Часть 5. Электрические свойства.
3. Леонов А.П., Супуева А.С. Определение работы адгезии в системе межвитковой изоляции // Науковедение. 2013. № 3. с. 1-5.
4. ОСТ 16.0800.821-88 «Определение дефектности эмалированных проводов в электролите и дроби».

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КЛАССИЧЕСКОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С РЕЗУЛЬТАТАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ELCUT

Асланян Р.О., Рапопорт О.Л.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В первых появившихся локомотивах основным элементом энергетической цепи был тяговый электродвигатель постоянного тока, благодаря электромеханической

характеристике, которая в наилучшей степени соответствует условиям тяги. Однако коллекторные тяговые электродвигатели имеют относительно невысокие показатели надежности, т.к. входят в число электрических машин, наиболее напряженных по коммутации, механической прочности и нагреву. В настоящее время во всем мире широко внедряется подвижной состав с бесколлекторными, преимущественно, тяговыми асинхронными электродвигателями (ТАД). Такие тяговые электроприводы позволяет заметно улучшить эксплуатационные характеристики силового электрооборудования локомотивов: позволяют снизить затраты на ремонт и обслуживание электродвигателей; асинхронный тяговый электродвигатель по сравнению с коллекторным имеет более высокое значение КПД.

Современные тенденции развития отечественных железных дорог так же направлены на оснащение тепловозов тяговыми приводами переменного тока. Это связано с основными достоинствами двигателей, такими как простота конструкции, отсутствие щеточно-коллекторного узла, что в сравнении с тяговыми двигателями постоянного тока открывает большие возможности для широкого использования. Высокая повреждаемость тяговых электродвигателей связана с пробоем изоляции. Изоляция играет важную роль в обеспечении надежной работы любого электрического устройства, в том числе и тяговых асинхронных двигателей. Изоляция тяговых двигателей подвергается значительному нагреву, воздействию влаги, и перенапряжений, вибрации. По вышеперечисленным причинам изоляция должна обладать достаточной электрической и механической прочностью, быть нагревоустойчивой и влагоустойчивой. Пробой изоляции является одной из основных проблем тяговых электродвигателей. Согласно исследованиям, с течением времени эксплуатации пробивное напряжение становится меньше из-за старения изоляции. Главной причиной старения является температура нагрева изоляции, как следствие тепловыделения в активной части машины при ее работе. Это проявляется как в тяговых двигателях постоянного, так и в тяговых двигателях переменного тока. Контроль температуры активной части в процессе эксплуатации тяговых электродвигателей является актуальным, так как позволит прогнозировать старение изоляции и предупреждать отказы.

В статье представлен расчет температуры нагрева асинхронного тягового электродвигателя (ТАД) двумя методами.

Первый метод является тепловой расчет по классической методике расчета. Для получения данных, необходимых для расчета температуры нагрева двигателя выполнен электромагнитный расчет тягового асинхронного двигателя. Расчет представлен на примере тягового двигателя переменного тока марки АД917УХЛ1.

Структура условного обозначения ТАД – АД917УХЛ1:

ТАД - тяговый асинхронный двигатель

Климатическое исполнение (У) и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

У — умеренный климат;

ХЛ — холодный климат;

1 — на открытом воздухе.

Условия эксплуатации :

Степень защиты IP54 по ГОСТ 17494-87.

Первая позиция — защита электродвигателей от проникновения посторонних предметов.

5 – пылезащищённое (некоторое количество пыли может проникать внутрь, однако это не нарушает работу устройства). Полная защита от контакта.

Вторая позиция — защита от проникновения жидкости. 4 - защита от брызг, падающих со всех сторон.

Способ монтажа: опорно - осевое подвешивание.

Способ охлаждения АС37:

А – воздух;

3- охлаждение с помощью отводящей и подводящей трубы;

7- способ перемещения хладагента.

Данный электродвигатель предназначен для использования как в маневровых тепловозах ТЭМ-21, так и в магистральных тепловозах 2ТЭ25А и ТЭ35А.

Исходными данными для расчета являются: номинальная мощность $P_{2н} = 350$ кВт; номинальная частота вращения $n_n = 347$ об/мин; максимальная частота вращения $n_n = 2500$ об/мин; номинальное напряжение (линейное) $U_n = 530$ В; число фаз ; число пар полюсов $p = 6$; класс нагревостойкости Н; степень защиты IP54; охлаждение IC37; конструктивное исполнение IM9001.

В результате выполнения электромагнитного расчета тягового электродвигателя переменного тока были проведены следующие расчеты: расчет магнитной цепи; расчет индуктивных сопротивлений; определение токов высших гармонических и создаваемых ими потерь; построение круговой диаграммы; расчет характеристик электродвигателя

На основании данных электромагнитного расчета был выполнен тепловой расчет по классической методике [1]. В результате теплового расчета по классической методике температура нагрева составила:

$t_n = 112,37 + 40 = 152,37 = 152,37$ °С, при температуре окружающей среды $t = 40$ °С.

Второй метод расчета температуры нагрева тягового электродвигателя переменного тока - моделирование в программной среде ELCUT. Используемый нами пакет ELCUT позволяет выполнять моделирование методом конечных элементов двухмерных электромагнитных, тепловых и механических полей.

Решение задачи на нагрев включает несколько последовательных шагов:

1. Выбор типа решаемой задачи.
2. Выбор класса задачи (плоская).
3. Создание геометрической модели (чертеж объекта).
4. Задание свойств материалов.
5. Задание граничных условий
6. Построение сетки конечных элементов.
7. Решение задачи.
8. Обработка результатов решения задачи

Для расчета температуры нагрева в программной среде составили алгоритм, представленный на рис. 1.

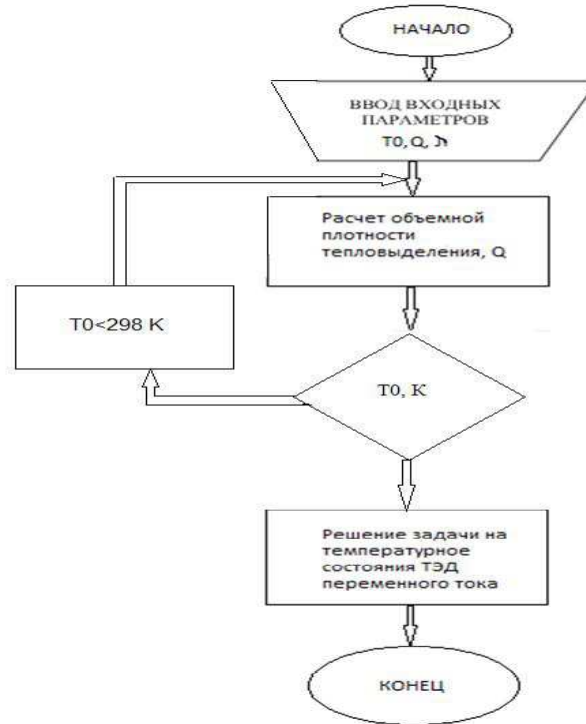


Рис. 1. Общий алгоритм расчета температурного поля ТАД

В результате решения тепловой задачи была получена картина установившегося теплового состояния тягового электродвигателя для номинальных параметров работы. На рис.2 показана модель одной четвертой части двигателя в ELCUT.

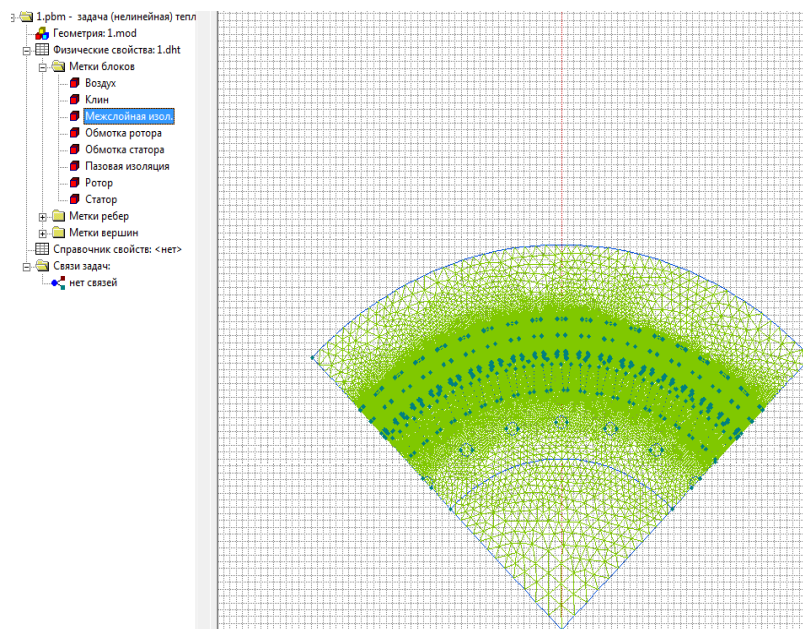


Рис. 2. Модель четверти двигателя

В результате решения задачи на распределение температуры в двигателе, получили температурную картину поля тягового двигателя, представленную на рис.3. Температура нагрева обмотки статора двигателя по данным моделирования в программе ELCUT составила 417 K, что составляет 144⁰С.

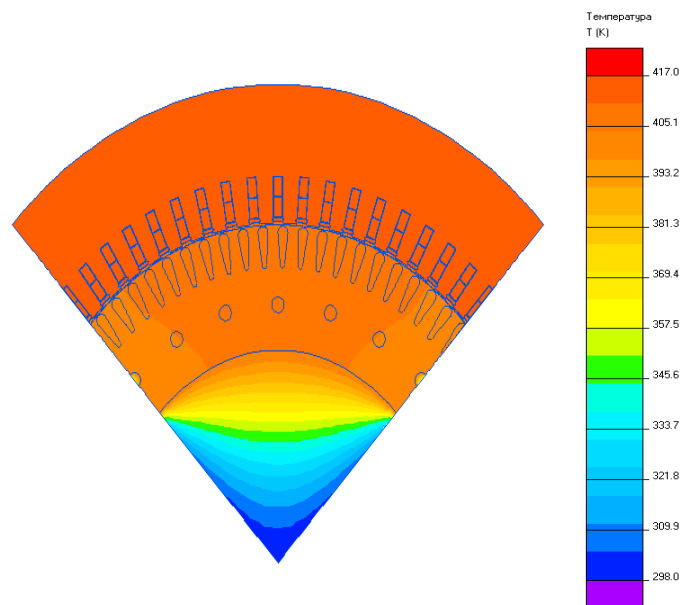


Рис. 3. Температурная картина поля тягового двигателя

Результатом проведенных расчетов стало определение температуры нагрева тягового асинхронного двигателя. При расчете по классической методике, температура нагрева составила 152.37°C . Что же касается моделирования теплового состояния в программной среде ELCUT, то температура нагрева получилась равной 144°C . Разность полученных результатов относительно друг друга составляет не более 5%. Так же можно сделать вывод о достоинствах и недостатках применяемых методов расчета температуры.

ELCUT может выполнять линейный и нелинейный стационарный температурный анализ в плоской и осесимметричной постановке. Сильной стороной ELCUT является необычно высокая скорость решения задачи, что по сравнению с классическим методом позволяет сократить время расчета. ELCUT предоставляет богатый набор инструментов для просмотра и анализа результатов решения. Для изображения картины поля применяется цветовая заливка, линии равного уровня, поле векторов. Также следует отметить, что достоинством данного метода является возможность получения полной картины температурного поля электродвигателя. ELCUT позволяет рассматривать локальные значения температуры нагрева.

Классический метод расчета, как и метод, посредством моделирования в программной среде имеет свои плюсы и минусы. Достоинством является точность полученных результатов. К недостаткам относятся, увеличение времени расчета температуры, а так же отсутствие полной картины температурного поля двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование тяговых электрических машин.: Учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / Под ред. М.Д. Находкина. - М.: Транспорт, 1967. – 536 с.
2. Алексеев А.Е. Тяговые электрические машины и преобразователи. - Л.: Энергия, 1977. - 445 с.
3. Проектирование электрических машин; Учеб. Пособие для вузов/ И.П.Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клюков и др.; Под ред. И.П. Копылова М.; Энергия, 1980.- 496 с.,илл.
4. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. Высшая школа, 1989. – 239