

*Кафиев Иршат Рашитович,*

*канд. техн. наук, доцент,*

*ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ»,*

*г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия*

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВУХСТОРОННЕМ ЛИНЕЙНОМ АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ**

В статье предлагается математическая модель, описывающая тепловые процессы в линейном асинхронном двигателе привода жерновой мельницы. Модель может быть использована для оценки влияния качества электроэнергии на надежность линейного асинхронного двигателя.

**Ключевые слова:** математическая модель; тепловые процессы; двусторонний линейный асинхронный двигатель; надёжность; схема замещения.

В настоящее время наметилась тенденция расширения области применения в сельском хозяйстве электроприводов, построенных на базе линейных асинхронных двигателей (ЛАД).

На базе ЛАД разработаны инерционный конвейер для транспортирования сельскохозяйственных продуктов [4, с.2], устройство для измельчения и помола зерновых культур [2, с. 27], [5, с. 2], [6, с. 2] и т.д.

Анализ литературы показывает, что в большинстве случаев (85...95%) отказы асинхронных двигателей происходят из-за повреждения обмоток. Основным фактором, влияющим на надежность изоляции электрических машин, является тепловое старение.

В данной статье рассматривается математическая модель тепловых процессов в ЛАД, в основу которой положен метод эквивалентных тепловых схем. Сущность метода заключается в следующем [7, с. 128]: двигатель или его часть разделяют на составные тела или сегменты, близкие или по материалу, или по характеру контакта с соседними элементами или средой.

В работе использована тепловая схема замещения ЛАД, в которой обмотка первого индуктора представляется первым телом, сталь первого индуктора - вторым телом, вторичный элемент (ВЭ) - третьим телом, обмотка

второго индуктора – четвертым телом, а сталь второго индуктора является пятым телом (рисунок 1).

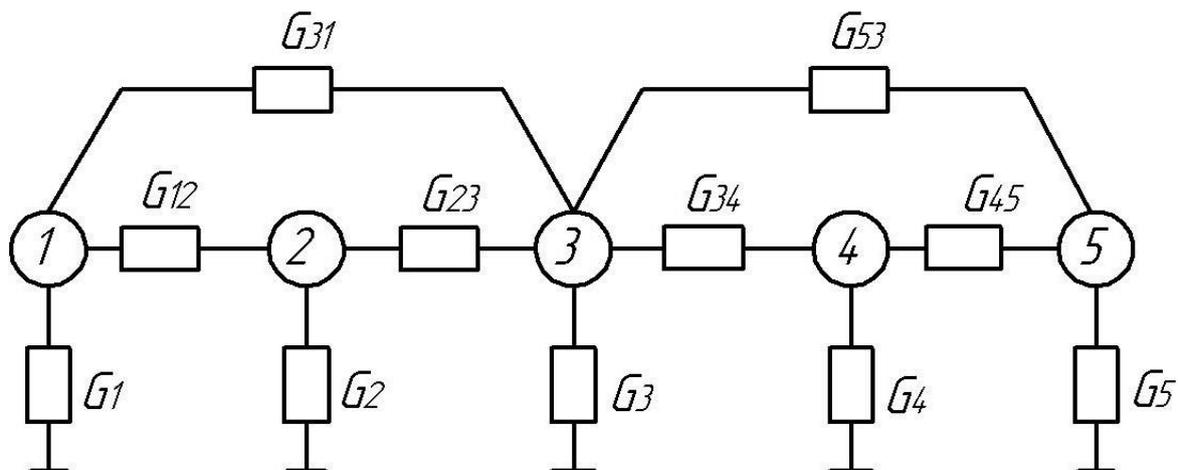


Рисунок 1 – Тепловая схема замещения двухстороннего линейного ЛАД:

1 – обмотка первого индуктора;

2 – сталь первого индуктора;

3 – вторичный элемент ЛАД;

4 – обмотка второго индуктора;

5 – сталь второго индуктора;

$G_1, G_2, G_3, G_4, G_5$  – тепловые проводимости от обмотки и стали первого индуктора, ВЭ, обмотки и стали второго индуктора в окружающую среду;

$G_{12}, G_{23}, G_{31}, G_{34}, G_{45}, G_{53}$  – тепловые проводимости между телами.

При разработке математической модели приняты следующие допущения:

1. выделение тепла во ВЭ происходит только над поверхностью индуктора, и оно равномерно распределено по всему его объёму;

2. расчёт температуры частей ЛАД производится для установившегося режима, т.е. когда ВЭ вращается постоянной линейной скоростью;

3. движение ВЭ относительно индуктора принимается прямолинейным, а не дугообразным.

Математическая модель разработана для ЛАД, используемого в приводе жерновой мельницы, схема которой представлена на рисунке 2.

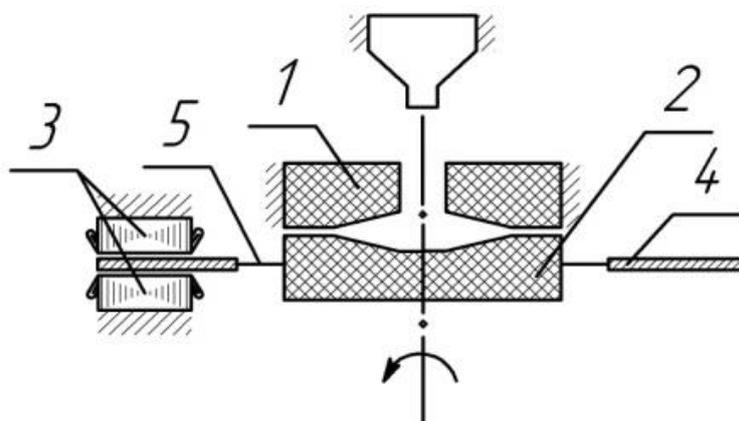


Рисунок 2 – Схема ЛАД в приводе жерновой мельницы:

1 – верхний жёрнов; 2 – нижний жёрнов; 3 – индукторы двухстороннего ЛАД;  
4 – алюминиевый диск ВЭ; 5 – отверстия для выхода муки

Математическая модель тепловых процессов в двухстороннем ЛАД представляет собой систему дифференциальных уравнений, которая имеет следующий вид:

$$\begin{cases} C_1 \frac{d\tau_1}{dt} = P_1 - G_1\tau_1 + G_{12}(\tau_2 - \tau_1) + G_{31}(\tau_3 - \tau_1); \\ C_2 \frac{d\tau_2}{dt} = P_2 - G_2\tau_2 + G_{12}(\tau_1 - \tau_2) + G_{23}(\tau_3 - \tau_2); \\ C_3 \frac{d\tau_3}{dt} = P_3 - G_3\tau_3 + G_{23}(\tau_2 - \tau_3) + G_{13}(\tau_1 - \tau_3) + G_{34}(\tau_4 - \tau_3) + G_{35}(\tau_5 - \tau_3); \\ C_4 \frac{d\tau_4}{dt} = P_4 - G_4\tau_4 + G_{45}(\tau_5 - \tau_4) + G_{34}(\tau_3 - \tau_4); \\ C_5 \frac{d\tau_5}{dt} = P_5 - G_5\tau_5 + G_{45}(\tau_4 - \tau_5) + G_{53}(\tau_3 - \tau_5), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$  – соответственно превышение температуры обмотки и стали первого индуктора, ВЭ, обмотки и стали второго индуктора температуры окружающей среды;

$P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  – соответственно выделяемые тепловые мощности обмоткой и сталью первого индуктора, ВЭ, обмоткой и сталью второго индуктора;

$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  – теплоёмкости тел;

$G_1, G_2, G_3, G_4, G_5$  – тепловые проводимости от обмотки первого индуктора, стали первого индуктора, ВЭ, обмотки первого индуктора, стали второго индуктора в окружающую среду;

$G_{12}, G_{23}, G_{31}, G_{34}, G_{45}, G_{53}$  – тепловые проводимости между телами.

Расчет значений теплоёмкостей тел и тепловых проводимостей модели проводится в соответствии с методиками, представленными в [3, с. 16-18]. Вычисление мощностей  $P_1, P_2, P_3$  проводится по математическим зависимостям, приведённым в [1, с. 294-300] с использованием электрической схемы замещения ЛАД.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аипов Р.С. *Линейные электрические машины и линейные асинхронные электроприводы технологических машин: монография* / Р.С. Аипов, А.В. Линенко. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. – 308 с.
2. Аипов Р.С. *Мельница для производства «живой» муки* / Р.С. Аипов, Р.Р. Нугуманов // *Сельский механизатор*. – 2012. – № 8. – С. 27.
3. Браславский И.Я. *Математические модели для определения энергопотребления различными типами асинхронных электроприводов и примеры их использования* / И.Я. Браславский, Ю.В. Плотников // *Электротехника*. – 2005. – №9. – С. 14-18.
4. Патент 2422348 Российская Федерация, МПК В 65 G 27 24. *Инерционный конвейер* / Р.С. Аипов, С.В. Акчурин, А.В. Линенко, М.Ф. Туктаров. – № 2010110857/11; заявл. 22.03.2010; опубл. 27.06.2011, Бюл. №11. 3 с.
5. Патент № 2546860 Российская Федерация, МПК В 02 С7/08, В 02 С7/16. *Устройство для измельчения* / Р.С. Аипов, Р.Р. Нугуманов, А.В. Линенко. – №2013153279/13; заявл. 29.11.2013; опубл. 10.04.2015 г., Бюл. № 10. 7 с.
6. Патент № 2482920 Российская Федерация, МПК В02С7/16. *Устройство для измельчения твердых материалов* / Р.С. Аипов, Р.Р. Нугуманов. №2012106826/13; заявл. 24.02.2012 г.; опубл. 27.05.2013 г., Бюл. № 15. 7 с.
7. *Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов* / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; под ред. И.П. Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2002. – 757 с.