

***Кафиев Иршат Рашитович,***

*канд. техн. наук, доцент;*

***Нугуманов Раушан Римович,***

*канд. техн. наук, ст. преподаватель,*

*ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»,*

*г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВУХСТОРОННЕМ ЛИНЕЙНОМ АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ**

В статье предлагается математическая модель в среде Matlab (Simulink), предназначенная для определения температуры составных частей двухстороннего линейного асинхронного двигателя, используемого в приводе жерновой мельницы.

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

***Irshat R. Kafiev,***

*Candidate of technical sciences, assistant professor,*

***Raushan R. Nugumanov,***

*Candidate of technical sciences, senior lecture,*

*FSBEI of HE «Bashkir State Agrarian University»,*

*Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia*

## **MODELING OF THERMAL PROCESSES IN THE DOUBLE-SIDED LINEAR INDUCTION MOTOR**

In article a mathematical model in the Matlab (Simulink) environment for determining the temperature of the components of a double-sided linear induction motor used in a millstone devices drive is proposed.

**Keywords:** mathematical model; thermal processes; double-sided linear induction motor; replacement circuit; millstone devices.

В настоящее время при проведении тепловых расчетов электрических машин широко используются методы численного интегрирования, которые, несмотря на их простоту и легкость программной реализации, обладают

относительно большой погрешностью вычислений, которая зависит от шага интегрирования.

Математическая модель тепловых процессов двухстороннего линейного асинхронного двигателя (ЛАД), разработанная в среде объектно-ориентированного моделирования Matlab (Simulink), лишена этого недостатка.

Модель разработана для ЛАД в приводе жерновой мельницы, схема которой приведена на рисунке 1[2].

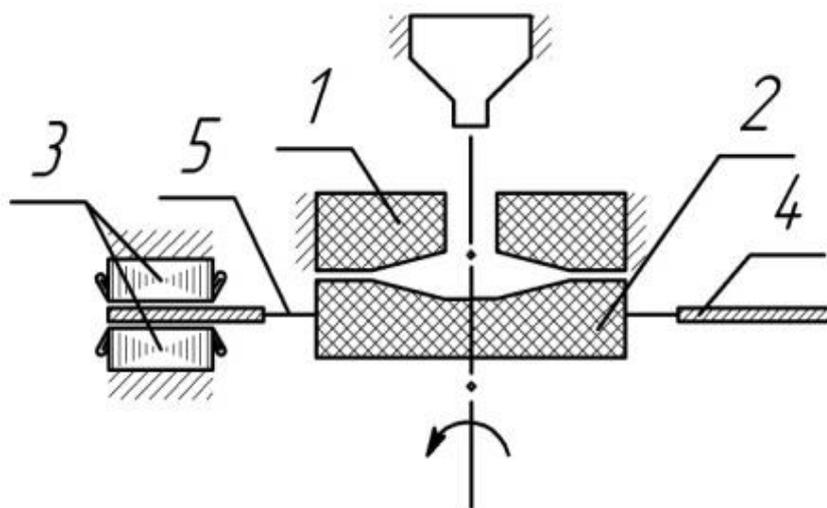


Рисунок 1 – Схема жерновой мельницы с приводом на основе ЛАД:

1 – верхний жернов; 2 – нижний жернов; 3 – индукторы двухстороннего ЛАД;  
4 – вторичный элемент (алюминиевый диск); 5 – отверстия  
для выхода муки

Для разработки программы использована математическая модель тепловых процессов в двухстороннем ЛАД, приведенная в [3]:

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

где:

$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$  – превышение температуры обмотки и стали первого индуктора, вторичного элемента (ВЭ), обмотки и стали второго индуктора относительно температуры окружающей среды, соответственно;

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

$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$  – теплоемкости элементов ЛАД;

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

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

Разработанная программа представлена на рис. 2.

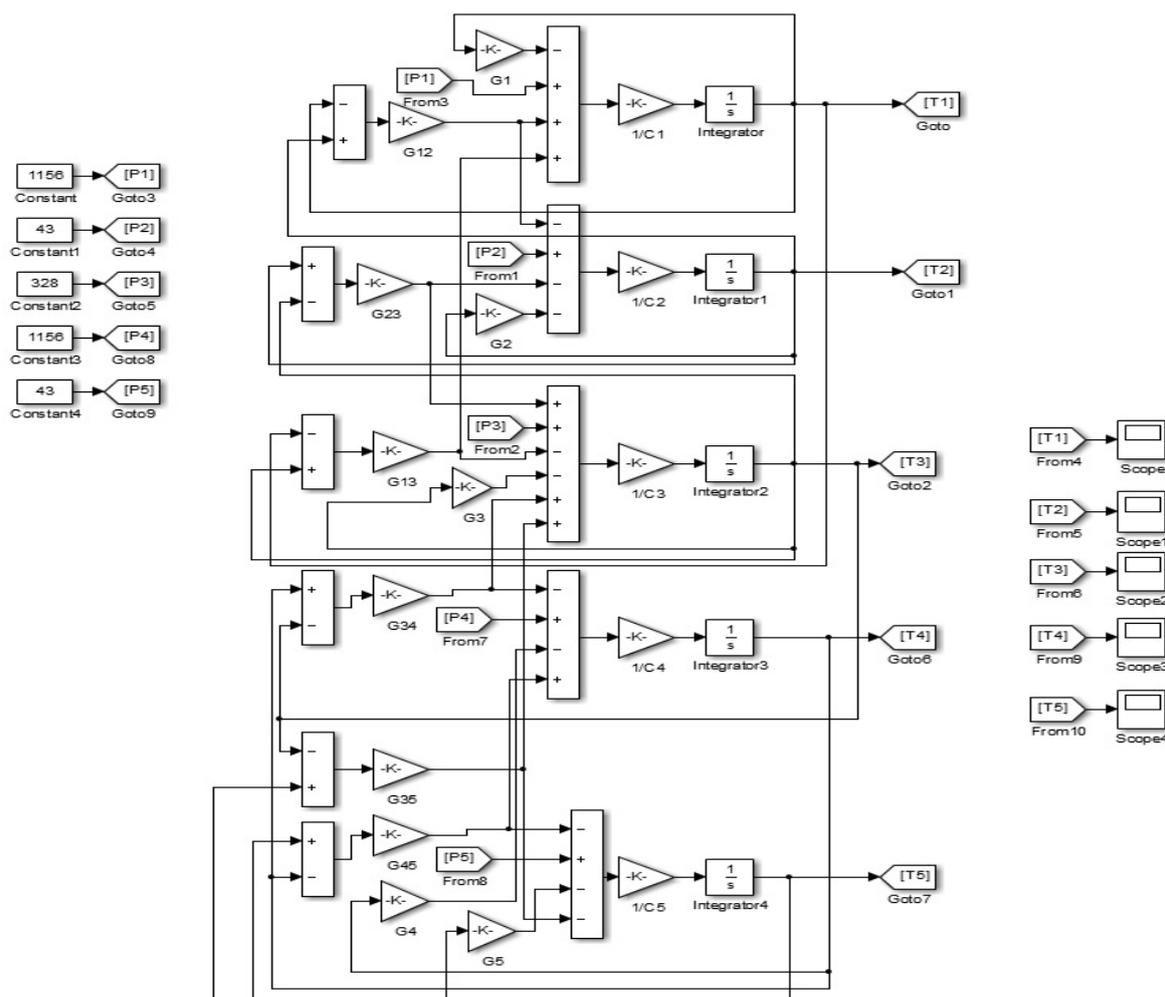


Рисунок 2 Программа в среде объектно-ориентированного визуального моделирования Matlab (Simulink)

Расчет значений теплоемкостей тел и тепловых проводимостей модели проводится в соответствии с методиками, представленными в [5]. Вычисление мощностей  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  проводится с использованием электрической схемы замещения ЛАД по математическим зависимостям, приведенным в [1] и [4].

Данная модель может быть использована для оценки надежности двухстороннего ЛАД при проектировании привода жерновой мельницы.

#### 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. *Регулирование скорости жерновой мельницы с двухсторонним линейным асинхронным двигателем в приводе* / Р.С. Аипов, Р.Р. Нугуманов // *Российский электронный научный журнал*. – 2014. – №1(7). – С. 8-19.
3. Кафиев И.Р. *Математическая модель тепловых процессов в двухстороннем линейном асинхронном двигателе* / И.Р. Кафиев // *Наука и образование: новое время*. – 2017. – №4(21). – С. 92-95.
4. Сарапулов Ф.Н. *Математические модели линейных индукционных машин на основе схем замещения: учебное пособие* / Ф.Н. Сарапулов, С.Ф. Сарапулов, П. Шымчак. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2001. – 236 с.
5. *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.: Высш. шк., 2002. – 757 с.