

//Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Вип. 203. –Харків: ХНТУСГ, 2019. – С. 104-106.

3. Попова І.О. Контроль режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі. /І.О. Попова. Автореф. дис. кандидата техн. наук. – Мелітополь: 2003. – 20 с.

**Прищепов М.А., д.т.н., доцент; Рутковский И.Г.  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО  
НАГРЕВАТЕЛЯ**

При прямом электронагреве сопротивлением тепловая энергия выделяется непосредственно в нагреваемой среде. Из за влияния температурного коэффициента сопротивления на входе в проточный электродный нагреватель (ЭН) термообработка будет протекать менее интенсивно чем на выходе. Для повышения равномерности термообработки можно использовать многозонный электродный нагрев [1-2].

Для многозонного электродного нагревателя в статике все электротепловые процессы происходящие в межэлектродном пространстве описываются системой уравнений:

$$\begin{cases} C_p \cdot G \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{U_k^2 \cdot \Pi \cdot \eta}{\rho t(\theta) \cdot H} \\ U = \sum_{k=1}^N U_k = \sum_{k=1}^N I \cdot R_k \\ I = C_p \cdot G \cdot (\theta_{\text{вых}} - \theta_{\text{вх}}) / (\eta \cdot U) \\ R_k = \int_0^{L_k} \rho_l(\theta) dx \cdot \int_0^{L_k} H dx / \left( \int_0^{L_k} \Pi dx \cdot L_k^2 \right) \end{cases} \quad (1)$$

где  $G$  – массовый расход обрабатываемой среды, кг/сек;  $C_p$  – удельная теплоемкость обрабатываемой среды, Дж/(кг·°C);  $\Pi$  – ширина электродов электронагревателя, м;  $H$  – межэлектродное расстояние, м;  $\rho t(\theta)$  – удельное сопротивление обрабатываемой среды, Ом·м;  $U_k$  – напряжение на  $k$ -ой последовательно соединенной зоне, В;  $U$  – напряжение питания, В;  $\eta$  – коэффициент полезного действия, о.е.;  $I$  – мгновенное значение полного тока электронагревателя, А;  $R_k$  – мгновенное значение сопротивления  $k$ -ой зоны, Ом;  $R$  – мгновенное значение полного сопротивления электронагревателя, Ом;  $L_k$  – длина  $k$ -ой зоны электронагревателя.

ля, м;  $N$  – количество последовательно соединенных зон электронагревателя;  $\theta_{\text{вх}}$  – температура на входе в ЭН, °С;  $\theta_{\text{вых}}$  – температура на выходе из ЭН, °С.

Значение температуры на  $i$ -й секции нагрева  $k$ -й зоны рассчитываем по формуле:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta x_k \frac{U_k^2 \cdot \Pi \cdot \eta}{\rho t(\theta) \cdot H \cdot C_p \cdot G}, \quad (2)$$

где  $\Delta x_k$  – длина  $i$ -й секции нагрева  $k$ -й зоны, м.

При решении этого уравнения возникает вопрос нахождения напряжения на  $k$ -ой последовательно соединенной зоне нагрева. Для расчета напряжений на зонах нагрева необходимо найти сопротивление этих зон нагрева и общий ток нагревателя. Расчет начинаем с нахождения значения удельного сопротивления расчетной секции нагревателя:

$$\rho t(\theta) = 1 / (\gamma_{20} \cdot (1 + \alpha_n \cdot (\theta_i - 20))), \quad (3)$$

где  $\gamma_{20}$  – проводимость токопроводящей среды;  $\alpha_n$  – температурный коэффициент проводимости.

Затем рассчитываем значение сопротивления  $i$ -й расчетной секции нагревателя:

$$R_{s_i} = \frac{\rho t(\theta) \cdot H}{\Pi \cdot \Delta x_k}. \quad (4)$$

Одновременно с расчётом сопротивления секции определяем значение плотности тока  $i$ -й секции нагрева:

$$J_i = \frac{k_3 \cdot U_k}{R_{s_i} \cdot \Delta x_k \cdot \Pi}, \quad (5)$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса по плотности тока.

После определения сопротивления секции нагревателя рассчитываем значение сопротивления  $k$ -й зоны нагрева электродного нагревателя. Расчет проводим с учетом параллельного соединения секций нагрева:

$$R_k = \frac{R_{s_{i+1}} \cdot R_{s_i}}{R_{s_{i+1}} + R_{s_i}}. \quad (6)$$

Значение тока электродного нагревателя определяем по формуле:

$$I = \frac{U}{\sum_{k=1}^N R_k}. \quad (7)$$

При моделировании работы многозонного проточного электродного нагревателя в Excel записываются формулы математической модели ЭН в ячейки электронных таблиц адресным способом. Уточнения значений напряжений на зонах электродного нагревателя проводим при помощи надстройки “Поиск решения”. При моделировании работы проточного ЭН рассчитываются распределение температуры, удельного сопротивления и плотности тока по длине нагревателя. Моделирование ЭН позволяет оценить особенности режимов работы различных конструкций нагревателя и сформировать рекомендации по их практическому использованию.

Список использованных источников

1. Прищепов, М.А. Некоторые особенности электротепловой обработки в сельскохозяйственном производстве / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский, А. Бжостович // Материалы XV International Scientific Conference “Problems of agricultural engineering”./ Miedzydroje – Poland, 2012. – С. 121–122.
2. Рутковский, И.Г. Расчет конструкции многозонного проточного электродного нагревателя / И.Г. Рутковский, Н.В. Рутковская // Материалы Международной научно-технической конференции “Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК”./ БГАТУ – Мн., 2017. – С. 277–280.

**Прищепова Е.М.**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь*

### **СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Современные системы управления частотно-регулируемых асинхронных ЭП базируются на представлении трехфазной (многофазной) электрической машины эквивалентной двухфазной электрической машиной, которая получила название обобщенной электрической машины (ОЭМ) [1...4]. Это упрощает математическое описание электрической машины и практическую реализацию систем управления частотно-регулируемых асинхронных ЭП.

На практике при исследовании процессов в асинхронных машинах наиболее часто используется математическое описание и структурные схемы АД в следующих системах координат [3]:

– неподвижной системе координат  $\alpha, \beta$  жестко связанной со статором (угловая скорость координатной системы  $\omega_{кв} = 0$ );