УДК 631.371:621

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ЭМИН НА БАЗЕ СТАТОРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Назарьян Г.Н., к.т.н.
Таврический государственный агротехнологический университет
Тел. (0619) 42-31-59

Аннотация **– обоснована тепловая модель водонагревателя, получены уравнения теплового баланса и эквивалентные тепловые схемы, предлагаются формулы для расчетного определения превышения температуры элементов конструкции.**

Ключевые слова **– тепловая модель, тепловой баланс, тепловая схема, превышение температуры.**

Постановка проблемы. ЭМИН представляют собой сравнительно новый тип водонагревателей, характеризующихся технологичностью изготовления, высокой надежностью и эффективностью в работе, успешно применяются для отопления бытовых и производственных зданий и сооружений АПК, а так же горячего электроводоснабжения животноводческих ферм и комплексов. Однако в связи с требованиями государственной программы по внедрению энергосберегающих технологий в АПК, для создания эффективных систем автоматизации управления ЭМИН возникла необходимость оптимизации тепловых процессов в ЭМИН. Для решения этой проблемы, наряду с экспериментальными данными, требуются надежные методы расчетного определения превышения температуры основных конструктивных элементов ЭМИН и нагреваемой жидкой среды.

Анализ последних исследований. Вопросы теории, конструирования и электромагнитного расчета ЭМИН нашли отображение в работах [3, 4]. Для проведения экспериментальных исследований тепловых процессов на кафедре АЭП создан специальный стенд [5]. Некоторые данные экспериментальных исследований опубликованы в [6].

Формулировка целей статьи. Основная цель состоит в обосновании полной тепловой модели ЭМИН и на этой основе разработка методики теплового расчета водонагревателя с получением формул для расчетного определения превышения температуры основных конструктивных элементов ЭМИН.

© к.т.н. Назарьян Г.Н.

Основная часть. На основе анализа особенности устройства и принципа работы индукционных водонагревателей типа ЭМИН [3, 4], были определены источники теплоты, направления тепловых потоков, реальные тепловые связи элементов конструкции установки. В соответствии с методом эквивалентных тепловых схем (ЭТС) [1, 2], была разработана полная тепловая модель ЭМИН, представленная на рис. 1.

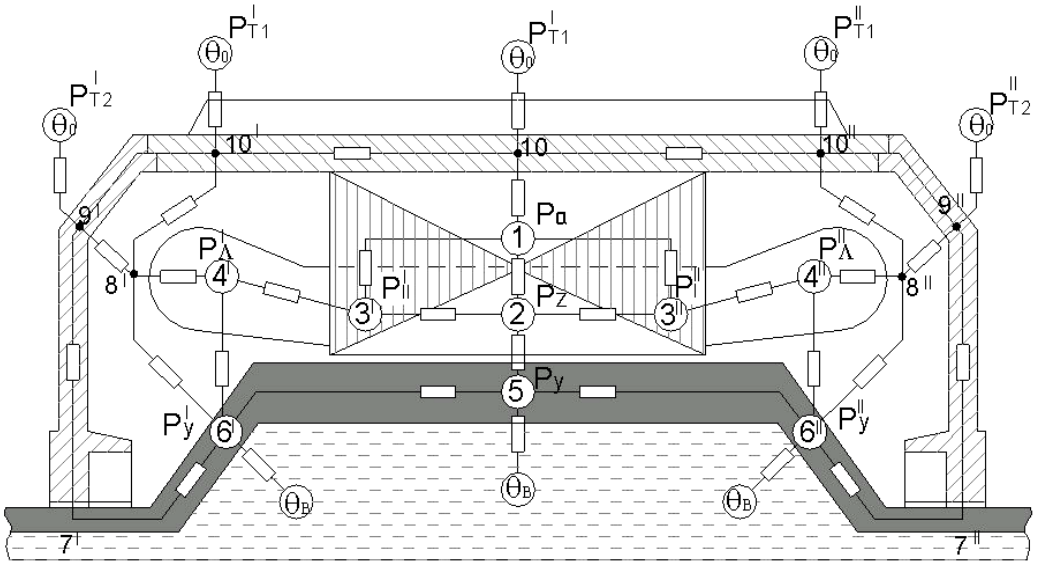

Рис.1. Полная тепловая модель ЭМИН

Основным источником теплоты в ЭМИН при подключении обмоток индуктора на статоре к питающей сети являются: 1) магнитные потери на вихревые токи в ярме индуктора P_a (узел 1); 2) такие же потери в зубцах индуктора P_2 (узел 2); 3) электрические потери в пазовых и лобовых частях обмотки индуктора $P'_П$; $P''_П$; P'; $P''_Л$, соответственно узлы $3'$; $3''$; $4'$; $4''$; 4) электрические и магнитные потери в основной и торцевой частях массивного ферромагнитного нагревателя $P_Э$; $P'_Э$; $P''_Э$ (узлы 5; $6'$ и $6''$). Кроме того, характерными тепловыми узлами водонагревателя без внутренних источников теплоты, однако играющих важную роль в общем процессе теплопередачи, являются узлы $8'$ и $8''$ с температурой воздуха внутри оболочки θ_α установки; узлы $9'$ и $9''$ с температурой боковых щитов $\theta_щ$; узлы 10, $10'$ и $10''$ с температурой корпуса $\theta_ê$ и узлы с температурой θ_i окружающей среды P_{T1}; P'_{T1}; P''_{T1}; P'_{T2} и P''_{T2}; и наконец, узлы с температурой нагреваемой воды $\theta_в$. По тепловой модели ЭМИН была составлена ЭТС, представленная на рис. 2, в которой с целью упрощения схемы некоторые симметрично расположенные тепловые узлы исходной модели совмещены без потери точности ЭТС. На симметрированной ЭТС на рис. 2 тепловые проводимости обозначены буквой Λ с подстрочными индексами в виде цифр соответствующих номерам связываемых ими узлов тепловой схемы.

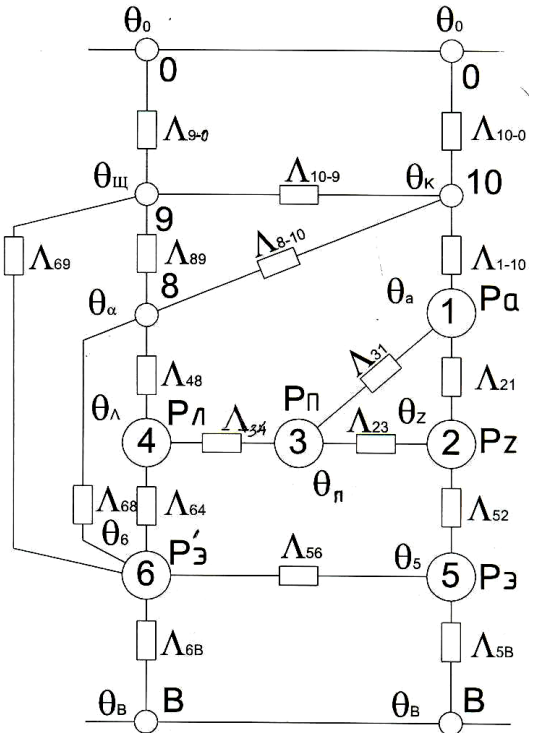

Рис.2. Симметрированная ЭТС ЭМИН

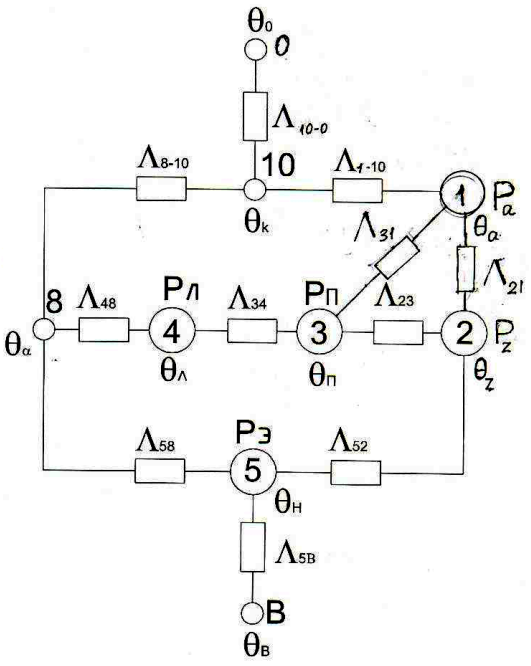

Рис.3. Упрощенная ЭТС ЭМИН

Дальнейшее упрощение ЭТС без снижения точности выполнено за счет объединения узлов 5 и 6 нагревателя в один узел 5 с общим тепловым потоком $P_Э$, а также объединения узлов корпуса 10 и боковых щитов 9 в один общий узел схемы 10 с тепловой проводимостью $\Lambda_{10\text{-}0}$. Упрощенная таким образом ЭТС ЭМИН представлена на рис. 3, с помощью которой составлены уравнения теплового баланса ЭМИН, полагая температуру $\theta_{\hat{i}} = 0$.

$$
\begin{aligned}
&\theta_a(\Lambda_{1\text{-}10}+\Lambda_{31}+\Lambda_{21}) - \theta_к\Lambda_{1\text{-}10} - \theta_п\Lambda_{31} - \theta_z\Lambda_{21} = P_a;\\
&\theta_z(\Lambda_{21}+\Lambda_{23}+\Lambda_{52}) - \theta_a\Lambda_{21} - \theta_п\Lambda_{23} - \theta_н\Lambda_{52} = P_z;\\
&\theta_п(\Lambda_{23}+\Lambda_{31}+\Lambda_{34}) - \theta_z\Lambda_{23} - \theta_a\Lambda_{31} - \theta_Л\Lambda_{34} = P_п;\\
&\theta_Л(\Lambda_{34}+\Lambda_{48}) - \theta_п\Lambda_{34} - \theta_\alpha\Lambda_{48} = P_Л;\\
&\theta_н(\Lambda_{52}+\Lambda_{58}+\Lambda_{5в}) - \theta_z\Lambda_{52} - \theta_\alpha\Lambda_{58} - \theta_в\Lambda_{5в} = P_e;\\
&\theta_\alpha(\Lambda_{58}+\Lambda_{48}+\Lambda_{8\text{-}10}) - \theta_н\Lambda_{58} - \theta_Л\Lambda_{48} - \theta_к\Lambda_{8\text{-}10} = 0;\\
&\theta_к(\Lambda_{1\text{-}10}+\Lambda_{10\text{-}0}+\Lambda_{8\text{-}10}) - \theta_a\Lambda_{1\text{-}10} - \theta_o\Lambda_{10\text{-}0} - \theta_\alpha\Lambda_{8\text{-}10} = 0.
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

Для снижения порядка системы уравнений (1) определяются превышения температуры основных элементов конструкции ЭМИН над температурой оболочки (корпуса) $\theta_{\hat{e}}$.

$$
\begin{aligned}
&\Delta\theta_a' = \theta_a - \theta_к; && \Delta\theta_н' = \theta_н - \theta_к;\\
&\Delta\theta_z' = \theta_z - \theta_к; && \Delta\theta_\alpha' = \theta_\alpha - \theta_к;\\
&\Delta\theta_п' = \theta_п - \theta_к; && \Delta\theta_в' = \theta_н - \theta_к;\\
&\Delta\theta_Л' = \theta_Л - \theta_к;
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

Введем новые обозначения:

$$\begin{aligned}
&\Lambda_{1\text{-}10} + \Lambda_{31} + \Lambda_{21} = \Lambda_{11}; && \Lambda_{52} + \Lambda_{58} + \Lambda_{5в} = \Lambda_{в};\\
&\Lambda_{21} + \Lambda_{23} + \Lambda_{52} = \Lambda_{22}; && \Lambda_{58} + \Lambda_{48} + \Lambda_{8\text{-}10} = \Lambda_{\alpha}; \qquad (3)\\
&\Lambda_{23} + \Lambda_{31} + \Lambda_{34} = \Lambda_{33}; && \Lambda_{1\text{-}10} + \Lambda_{10\text{-}0} + \Lambda_{8\text{-}10} = \Lambda_{5}.\\
&\Lambda_{34} + \Lambda_{48} = \Lambda_{44};
\end{aligned}$$

В результате получим уравнения теплового баланса ЭМИН в удобном для расчета виде:

$$\begin{aligned}
&\theta_a' \Lambda_{11} - \Delta\theta_п' \Lambda_{31} - \Delta\theta_z' \Lambda_{21} = P_a;\\
&\theta_z' \Lambda_{22} - \theta_н' \Lambda_{52} - \Delta\theta_п' \Lambda_{23} - \Delta\theta_a' \Lambda_{21} = P_z;\\
&\theta_п' \Lambda_{33} - \Delta\theta_z' \Lambda_{23} - \Delta\theta_a' \Lambda_{31} - \Delta\theta_\Lambda' \Lambda_{34} = P_п; \qquad (4)\\
&\theta_\Lambda' \Lambda_{44} - \Delta\theta_п' \Lambda_{34} - \Delta\theta_\alpha' \Lambda_{48} = P_\Lambda;\\
&\theta_н' \Lambda_{в} - \Delta\theta_z' \Lambda_{52} - \Delta\theta_\alpha' \Lambda_{58} - \Delta\theta_в' \Lambda_{5в} = P_e.
\end{aligned}$$

Превышение температуры оболочки-корпуса над температурой окружающей среды определяется по формуле:

$$\Delta\theta_n = \frac{P_a + P_z + P_п + P_\Lambda + P_э}{\Lambda_к}, \qquad (5)$$

где $\Lambda_{ê}$ – тепловая проводимость оболочки корпуса водонагревателя к окружающей среде.

При этом:

$$\Lambda_к = \Lambda_{10\text{-}10} = \Lambda_{8\text{-}10} + \Lambda_{1\text{-}10.}$$

Значения мощностей греющих тепловых потерь могут быть определены по паспортным данным базовых асинхронных двигателей.

Превышение температуры других активных элементов определяется по формулам:

$$\begin{aligned}
&\Delta\theta_a = \theta_a' + \Delta\theta_п + 0{,}5\,\Delta\theta_o;\\
&\Delta\theta_п = \theta_z' + \Delta\theta_п + 0{,}5\,\Delta\theta_o;\\
&\Delta\theta_п = \theta_п' + \Delta\theta_п + 0{,}5\,\Delta\theta_o; \qquad (6)\\
&\Delta\theta_\Lambda = \theta_\Lambda' + \Delta\theta_п + 0{,}5\,\Delta\theta_o;\\
&\Delta\theta_н = \theta_н' + \Delta\theta_п + 0{,}5\,\Delta\theta_o;
\end{aligned}$$

Среднее превышение температуры обмотки индуктора над температурой окружающей среды:

$$\Delta\theta_{1н} = \frac{\Delta\theta_\Lambda \cdot \ell_{1\Lambda} + \Delta\theta_n \cdot \ell_1}{\ell_{1\Lambda} + \ell_1}, \qquad (7)$$

где $\ell_{1\Lambda}$ и ℓ_1 – соответственно, длина лобовой и пазовой части обмотки индуктора.

Превышение температуры нагреваемой жидкости над температурой на вводе в ЭМИН:

$$\Delta\theta_{в} = \frac{P_2}{C_m \cdot \gamma \cdot Q}, \quad (8)$$

где C_m – удельная теплоемкость жидкости.

Для воды $C_m = 4{,}19$ кДж/(кг·°С);

γ – плотность жидкости;

Q – производительность ЭМИН;

P_2 – полезная тепловая мощность водонагревателя.

При этом для ЭМИН непрерывного действия:

$$P_2 = \frac{Q \cdot C_m (t_2 - t_1)}{3600}, \quad (9)$$

и ЭМИН емкостного или периодического действия:

$$P_2 = \frac{m \cdot C_m (t_2 - t_1)}{3600 \cdot t}, \quad (10)$$

где t_1 и t_2 – начальная и конечная температура нагрева, ^{0}С;

m – масса нагреваемой жидкости, кг;

t – время нагрева, ч;

Q – производительность, л/ч.

В заключение отметим, что решение системы уравнений теплового баланса (1) является конечным этапом теплового расчета ЭМИН. При этом необходимо знание тепловых проводимостей между элементами конструкции водонагревателя. Вопросы расчетного определения тепловых проводимостей конструктивных элементов асинхронных двигателей, статоры которых используются для изготовления ЭМИН, подробно изложены в [1] и литературе по проектированию электрических машин. Однако с учетом особенности устройства (наличие нагревателя в виде ферромагнитной трубы, минимального воздушного зазора и т.п.), а также назначения ЭМИН [2, 3] для расчетного определения значений тепловых проводимостей с достаточной точностью требуется уточнение существующих расчетных формул проводимостей с экспериментальной проверкой превышения температуры элементов на опытных образцах ЭМИН.

Выводы. 1. Предлагаемая тепловая модель ЭМИН наиболее полно и достоверно отражает распределение температуры, потерь и тепловых потоков реальных установок.

2. Полученные на основе тепловой модели уравнения теплового баланса и эквивалентные тепловые схемы (ЭТС), а также предлагаемые формулы обеспечивают надежный расчет превышения температуры основных конструктивных элементов ЭМИН, хорошо согласующиеся с опытными данными.

Литература:

1. *Бойко Е.П.* Асинхронные двигатели общего назначения/ Е.П. Бойко, Ю.В. Гаинцев, Ю.М. Ковалев и др.; Под ред. В.М. Петрова и А.Э. Кравчика. – М.: Энергия, 1980. – 448 с.

2. *Сипайлов Г.А.* Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах/ Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан – М.: Высш. шк., 1989. – 239 с.

3. *Назарьян Г.Н.* Электромагнитные индукционные водонагреватели на базе статоров асинхронных двигателей / Г.Н. Назарьян, М.Г. Назарьян // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. Науково-виробничий журнал. – К.: НАУ, 2006, №2 (17). – С. 46-55.

4. *Назарьян Г.Н.* Электромагнитный индукционный водонагреватель типа ЭМИН на базе статоров асинхронных двигателей / Г.Н. Назарьян.: Техническое описание, конструирование и электромагнитный расчет . – Мелитополь: ТГАТУ, 2008. – 31 с.

5. *Махсудов А.Е.* Експериментальна установка для дослідження індукційного водонагрівача/ А.Е. Махсудов// Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2001. – Вип.1, Т. 19. – С. 73-75.

6. *Назарьян Г.Н.* Экспериментальное исследование параметров схемы замещения индукционных водонагревателей типа ЭМИН/ Г.Н. Назарьян, М.Г. Назарьян // Праці ТДАТА, 2004. Вип. 19 – С. 45-50.

ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ІНДУКЦІЙНИХ ВОДОНАГРІВАЧІВ ЭМИН НА БАЗІ СТАТОРІВ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Назар’ян Г.Н.

Анотація

Обґрунтована теплова модель водонагрівача, отримані рівняння теплового балансу й еквівалентні теплові схеми, пропонуються формули для розрахункового визначення перевищення температури елементів конструкції.

THERMAL CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC INDUCTION WATERHEATER EMIN ON STATORS BASES OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS

G. Nazar'yan

Summary

The thermal model of waterheater is grounded, equalizations of thermal balance and equivalent thermal charts are got. For calculation determination of exceeding of temperature construction elements of formulas are offered.