

УДК 631.363

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОТЕЛ С КОМБИНИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕМ

Переверзев Д.Ю., аспирант\*.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-32-63

***Аннотация*** – предложена конструкция и методика исследования электрического котла с комбинированным электронагревателем для нагрева жидкого теплоносителя.

***Ключевые слова*** – комбинированный электронагреватель, горячее водоснабжение, индукционный котел, нагревательное устройство проточного действия, межсезонное и профилактическое обслуживание, многотарифный счетчик.

*Постановка проблемы.* Любая система отопления является сложным техническим решением, состоящим из нескольких функциональных узлов. Все составные части системы отопления должны быть правильным образом скомпонованы и запущены в работу. После запуска системы отопления, в результате старения и износа, возможен выход из строя отдельных элементов. Таким образом, любая система отопления требует профилактического техобслуживания. В обычных электрических котлах температура трубчатых электронагревателей может достигать 900 °С, что негативно сказывается на сроке эксплуатации, приводит к образованию накипи и постепенному разрушению нагревательного элемента.

*Анализ последних достижений.* Для отопления электричеством сейчас часто используют электрические котлы с трубчатыми электронагревателями. Они дешевые и могут работать по заданной программе. Как альтернативу таким котлам предлагаются индукционные котлы или вихревые индукционные нагреватели. Конструктивно вихревые индукционные нагреватели состоят из полого электромагнитного сердечника с индукционной катушкой. Для защиты от внешних факторов они заключены в экранирующую оболочку. Ток промышленной частоты 50 Гц, протекая по виткам катушки, создает переменное магнитное поле. Это поле наводит (индуцирует) в сердечнике вихревые

---

\* Научный руководитель: д.т.н. Овчаров В.В.

© аспирант Переверзев Д.Ю.

токи, которые в свою очередь приводят к нагреву металлических частей теплообменной системы.

*Формирование целей статьи.* В качестве материала для катушки вихревого индукционного нагревателя используется медный провод, что в свою очередь ведет к удорожанию конструкции нагревателя. Поэтому было решено внести изменения в конструкцию нагревателя с применением более дешевого материала для катушки. Кроме того была поставлена задача разработки методики исследования комбинированного электронагревателя.

*Основная часть.* Электрический котел с предлагаемым комбинированным электронагревателем (рис. 1) предназначен для использования в автономных системах отопления, горячего водоснабжения в технологических процессах, связанных с нагревом промежуточного теплоносителя. Конструкция электронагревателя в отличие от трубчатых и газовых нагревателей, позволяет электрическому котлу с комбинированным электронагревателем работать намного дольше (свыше 30 лет) не теряя своих технических показателей.

Электрический котел с комбинированным электронагревателем сочетает в себе два способа нагрева жидкого теплоносителя. С одной стороны, потери активной мощности в нагревателе происходят за счет вихревых токов и перемагничивания сердечника. С другой стороны, индукционная катушка, выполненная из стальной проволоки, так же нагревается, отдавая тепло теплоносителю.

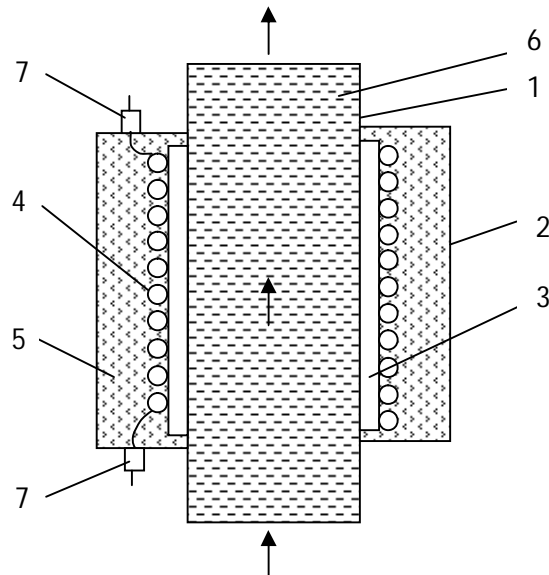


Рис. 1. Конструктивная схема комбинированного электронагревателя:

- 1 – внутренняя стальная труба; 2 – наружная стальная труба с фланцами; 3 – изоляционная конструкция; 4 – стальной провод;
- 5 – наполнитель (песок речной); 6 – проточный теплоноситель (вода);
- 7 – изоляторы проходные.

Рассмотрим физические явления и процессы, наблюдаемые в электрическом котле с комбинированным электронагревателем, для чего составим расчетную схему электрической цепи электронагревателя (рис. 2).

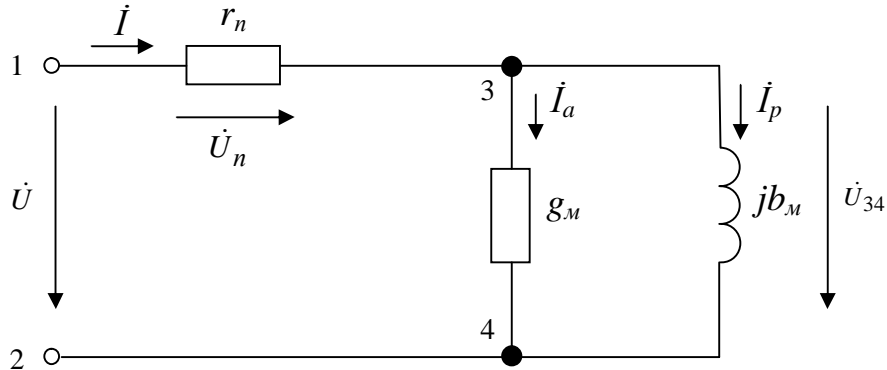


Рис. 2. Расчетная схема цепи электронагревателя.

На схеме обозначены:

$r_n$  – активное сопротивление провода, Ом;

$g_m$  – активная проводимость, эквивалентная потерям в стали от действия вихревых токов и гистерезиса, См;

$b_m$  – индуктивная проводимость, См;

$\dot{I}$  – комплекс действующего значения силы электрического тока, потребляемого электронагревателем, А;

$\dot{I}_a$  – комплекс активной составляющей силы электрического тока, А;

$\dot{I}_p$  – комплекс реактивной составляющей силы электрического тока, А;

$\dot{U}$  – комплекс действующего значения напряжения на зажимах нагревателя, В;

$\dot{U}_{34}$  – комплекс действующего значения напряжения намагничивающего контура, В;

$\dot{U}_n$  – комплекс действующего значения падения напряжения на активном сопротивлении стальной обмотки, В.

В задачу исследования входят аналитическое и экспериментальное определение параметров электронагревателя.

Активное сопротивление обмотки определяется по выражению

$$r_n = \rho \frac{l_n}{S_n}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала стального провода, Ом·(мм<sup>2</sup>/м);

$l_n$  – длина провода, м;

$S_n$  – площадь поперечного сечения стального провода, мм<sup>2</sup>.

Индуктивность обмотки определяется по выражению

$$L = \frac{w^2 \mu_c S}{l}, \quad (2)$$

где  $w$  – число витков обмотки;

$\mu_c$  – магнитная проницаемость стали, Гн/м;

$S$  – площадь стали, через которую замыкается магнитное поле, м<sup>2</sup>;

$l$  – длина магнитопровода, м.

Параметры  $\rho$  и  $\mu_c$  определяются по справочным данным. Параметры  $w$ ,  $l_n$ ,  $S_n$ ,  $S$ ,  $l$  определяются по конструктивным данным электронагревателя.

Для проведения экспериментального исследования составляем электрическую схему экспериментальной установки (рис. 3)

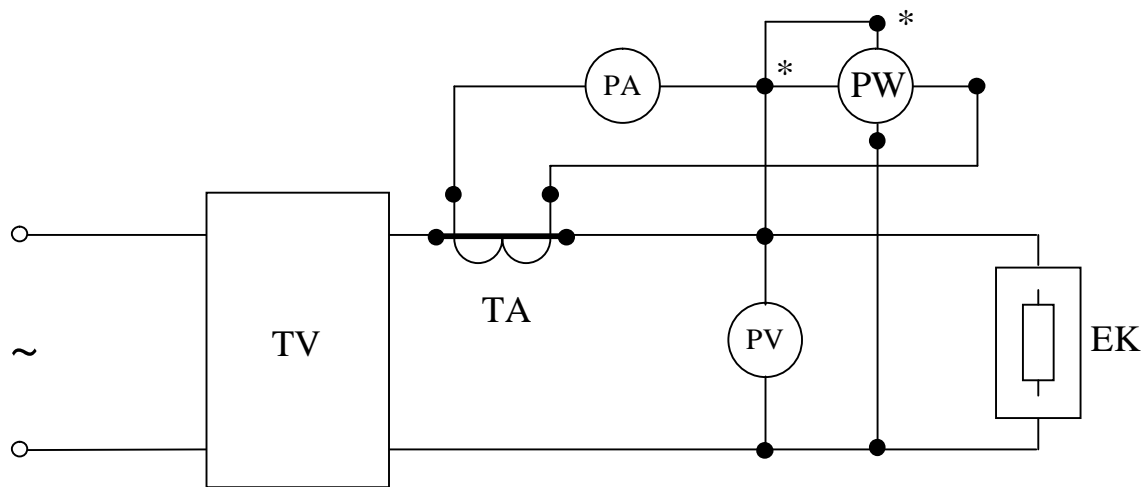


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки: TV – регулятор напряжения; ТА – трансформатор тока; ЕК – электронагреватель; РА – амперметр; РВ – ваттметр; РВ – вольтметр.

В результате эксперимента определяются показания приборов – напряжение  $U$ , ток  $I$ , мощность  $P$ .

Определяем полное сопротивление всей цепи:

$$z = \frac{U}{I}. \quad (3)$$

Определяем активное сопротивление всей цепи

$$r = \frac{P}{I^2}. \quad (4)$$

Определяем реактивное сопротивление всей цепи

$$x = \sqrt{z^2 - r^2}. \quad (5)$$

Определяем угол сдвига фаз всей цепи

$$\varphi = \arccos \frac{r}{z}. \quad (6)$$

Запишем комплекс действующего значения напряжения на зажимах электронагревателя, при  $\psi_u = 0$

$$\dot{U} = U. \quad (7)$$

Запишем комплекс действующего значения силы электрического тока электронагревателя, приняв начальную фазу напряжения равной нулю

$$\dot{I} = I \cdot e^{-j\varphi}. \quad (8)$$

Находим комплекс действующего значения напряжения на активном сопротивлении обмотки

$$\dot{U}_n = r_n \cdot \dot{I}. \quad (9)$$

Находим комплекс действующего значения напряжения на намагничивающем контуре

$$\dot{U}_{34} = \dot{U} - \dot{U}_n \quad (10)$$

Комплекс полного сопротивления намагничивающего контура

$$Z_M = \frac{\dot{U}_{34}}{\dot{I}}. \quad (11)$$

Комплекс полного сопротивления намагничивающего контура (рис. 4):

в показательной форме –  $Z_M = z_M \cdot e^{-j\varphi_M}, \quad (12)$

в тригонометрической форме –  $Z_M = z_M \cdot \cos\varphi_M - jz_M \cdot \sin\varphi_M, \quad (13)$

в алгебраической форме –  $Z_M = r_M + jx_M. \quad (14)$

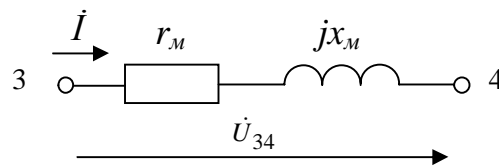


Рис. 4. Эквивалентная схема намагничивающего контура.

Определяем проводимости:

$$g_M = \frac{r_M}{z_M^2}; \quad (15)$$

$$b_M = \frac{x_M}{z_M^2}. \quad (16)$$

Определяем активные мощности:

$$P_n = r_n I^2; \quad (17)$$

$$P_M = g_M U_{34}^2 = r_M I^2; \quad (18)$$

$$P = P_n + P_M. \quad (19)$$

*Пример расчета.* При испытании одного из нагревателей приборы показали следующие значения: вольтметр – 220 В, амперметр – 50 А, ваттметр – 8000 Вт. В результате расчета получено следующее значения:  $r_n = 0,89$  Ом;  $z = 4,4$  Ом;  $r = 3,2$  Ом;  $x = 3,02$  Ом;  $\varphi = 43^\circ$ ;  $P_n = 2225$  Вт;  $P_M = 6250$  Вт;  $L = 0,0089$  Гн.

*Выводы.* 1. Создание электрического котла с комбинированным электронагревателем позволило расширить границы и область приме-

нения электронагрева как в производственных целях, так и на бытовом уровне, увеличить срок службы, повысить уровень электро- и пожаробезопасности, исключить необходимость межсезонного и профилактического обслуживания оборудования.

2. Комбинированный нагреватель может применяться повсеместно, поскольку имеется возможность набора мощности для помещений любого объема. Малые габариты индукционных нагревателей позволяют монтировать их в помещениях с ограниченной площадью. Особенным преимуществом является возможность интеграции в любую систему жидкостного отопления: радиаторную, теплый пол, воздушный обдув.

3. Применения стали в качестве материала для изготовления индукционной катушки позволяет значительно сократить затраты на изготовление нагревателя.

#### Литература

1. Рудобаит С.П. Подогреватели воды для сельскохозяйственных объектов / С.П. Рудобаит, Н.В. Оболенский, А.А. Мокеев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003, №9. – С.16-17.

2. Кисель О.Б. Расчет индукционного проточного нагревателя жидкости / О.Б. Кисель // Вопросы электрификации сельскохозяйственного производства. – Целиноград: ЦСХИ, 1972. – 117 с.

3. Пат. 6353213 США МПК7 H05B6/10 BMG Holdings, LLC, Miller Blair, Mayer Thomas J. 09/751651. Voltage transformer type water heating unit. 2002.

4. Кувалдин А.Б. Низкотемпературный индукционный нагрев стали / А.Б. Кувалдин. – М.: Энергия, 1976. – 112 с.

## ЕЛЕКТРИЧНИЙ КОТЕЛ З КОМБІНОВАНИМ ЕЛЕКТРОНАГРІВАЧЕМ

Переверзев Д.Ю.

#### *Анотація*

**Запропонована конструкція та методика дослідження електричного котла з комбінованим електронагрівачем для нагріву рідкого теплоносія.**

## **ELECTRIC CALDRON WITH THE COMBINED HEATER**

D. Pereverzev

#### *Summary*

**This article is devoted to construction and calculation method of electric caldron with the combined liquid heater.**