

УДК 621.365.5 (045)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ ИНДУКЦИОННОГО ТИПА

В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Е.В. Ильченко

Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова", Бийск

Статья посвящена разработке индукционного нагревателя жидких сред. В ходе исследования были изучены возможные схемы реализации индукционного нагревателя, разработана методика расчета конструктивных параметров нагревателя, разработана схема управления, построен опытный образец. Методика расчета проверена на построенном опытном образце.

Ключевые слова: Индукционный нагреватель, расчет, схема, проектирование.

ВВЕДЕНИЕ

Индукционные электронагреватели – это современное нагревательное оборудование, реализующее функции высокотемпературного электронагрева жидких сред. Растущая популярность нагревателей индукционного типа обусловлена их основными достоинствами: высокой защитой от поражения электрическим током; незначительным превышением температуры теплообменного устройства над температурой объекта нагрева (не более 20 – 30°C), что исключает возникновение пожароопасных ситуаций; отсутствием высокотемпературных узлов, что существенно увеличивает срок службы (100000 часов и более) и определяется только степенью старения изоляции обмоточного провода; отсутствием накипеобразования на теплообменной поверхности; достижением коэффициента мощности величины 0,98 и выше; стабильностью КПД, достигающего 98 – 99%; неприхотливостью к виду теплоносителя (вода, масло, антифриз и т.п.); простотой монтажа и обслуживания, что обеспечивает возможность полной автономности работы и подключения к существующим системам отопления и горячего водоснабжения. Надежность индукционных нагревателей исключает межсезонные и профилактические ремонты. Возможность использования высокотемпературных индукционных электронагревателей позволяет до минимума сократить эксплуатационные затраты, поскольку они во многих случаях более выгодны, чем парогенераторы, ТЭНовые и электродные котлы.

Превосходство индукционных нагревателей жидких сред над своими ТЭНовыми и электродными аналогами обуславливает актуальность исследования их функциональных возможностей, поиска оптимальных конструктивных решений и разработки новых устройств с улучшенными техническими характеристиками.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ

На сегодняшний день практически применяются несколько различных по конструкции устройств, в которых реализован индукционный принцип нагрева жидких сред [1–4].

Анализ известных конструкций индукционных нагревателей жидких сред позволил выявить оптимальную конструктивную схему, характеризующуюся возможностью ее аналитического расчета, относительной простотой конструкции, технологичностью изготовления, возможностью практической реализации тепловых установок в широком диапазоне мощностей. Выбранная конструктивная схема позволяет реализовать нагреватель на базе широко известной трехфазной электромагнитной системы, где в качестве вторичной обмотки используется проводящий короткозамкнутый теплообменный контур.

К достоинствам индукционных нагревателей описанных в работах [2–4] также следует отнести тот факт, что основу таких нагревателей составляет электромагнитная система трехфазного трансформатора, для расчета которой используются различные известные методики.

Однако, из всех известных конструкций наиболее интересен нагреватель, конструкция которого описана в патенте [4]. Вместе с тем, подробный анализ конструкции позволил выявить ряд недостатков, касающихся теплообменной части устройства (вторичной обмотки трансформатора):

- сложность конструкции вторичной обмотки из-за необходимости выполнения дополнительных сварных соединений отдельных участков вторичной обмотки трансформатора, что влечет за собой увеличение времени и затрат на его сборку;

- протекание большой величины электрического тока по вторичной обмотке, в

частности по сварным соединениям, обуславливает высокие требования к качеству сварных соединений;

- выполнение вторичной обмотки в виде сложной геометрической конструкции затрудняет определение ее электрического сопротивления электрическому току, что необходимо на этапе проектирования и расчета индукционного нагревателя на номинальную мощность;

Для преодоления выявленных недостатков была разработана конструкция универсального (по мощности) индукционного нагревателя жидких сред и предложена методика расчета конструктивных элементов, что позволило осуществлять выбор оптимального соотношения геометрических параметров вторичной обмотки индукционного нагревателя для выделения в материале теплообменной части индукционного нагревателя требуемой тепловой энергии и сократить время проектирования индукционного нагревателя на произвольную мощность.

На рис. 1 представлена конструкция разработанного индукционного нагревателя жидких сред [5].

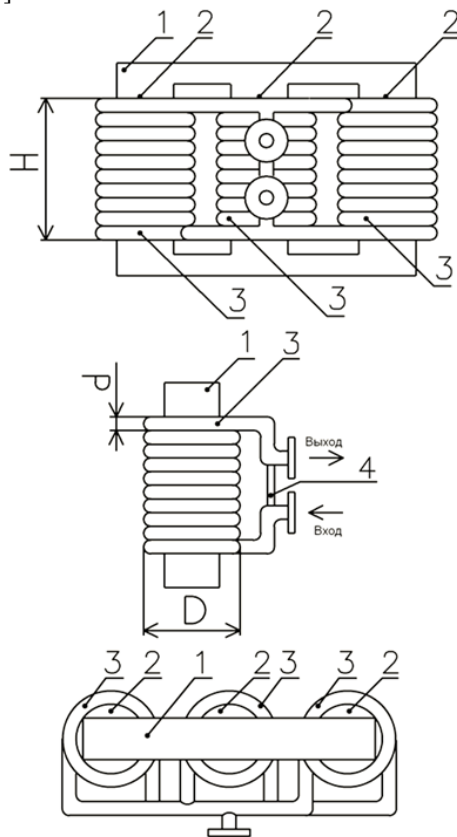


Рис. 1. Конструкция разработанного индукционного нагревателя

Предлагаемая конструкция индукционного нагревателя для жидких сред представляет собой трехфазный трансформатор, состоящий из сердечника, выполненного из листовой электротехнической стали (1, рис. 1), трех первичных

обмоток (2, рис. 1), каждая из которых содержит витков, электрически соединены звездой и предназначены для подключения к трехфазной электрической сети переменного тока. При подключении трансформатора к электрической сети на каждую обмотку трансформатора подается электрическое напряжение. На каждую первичную обмотку трансформатора устанавливаются вторичные обмотки (3, рис. 1), выполненные из металлических труб с внешним и внутренним диаметрами и соответственно, навитых вокруг каждой первичной обмотки трансформатора в один слой. Входы и выходы трех труб гидравлически соединены параллельно, а электрически замкнуты внешним проводником (4, рис. 1) таким образом, что образуются три короткозамкнутые обмотки. Геометрические параметры каждой из трех вторичных обмоток трансформатора определяют их электрическое сопротивление, которое должно удовлетворять условию выделения в них определенной тепловой энергии при индуцировании во вторичной обмотке напряжения.

Сечение вторичной обмотки, выполненной в виде металлической трубы определяется из следующего выражения:

$$\text{_____} \text{_____} \quad (1)$$

Активное электрическое сопротивление каждой вторичной обмотки трансформатора определяется из следующего выражения:

$$\text{_____} \quad (2)$$

где ρ – удельное сопротивление материала, l – длина проводника каждой вторичной обмотки.

С учетом сечения вторичной обмотки, ее электрическое сопротивление определяется из следующего выражения:

$$\text{_____} \quad (3)$$

Напряжение, которое должно индуцироваться во вторичных обмотках для выделения в них мощности определяется из следующего выражения:

$$\text{_____} \quad (4)$$

Количество витков вторичной обмотки, с учетом напряжения первичной обмотки, количества витков первичной обмотки определяется из следующего выражения:

$$\text{_____} \quad (5)$$

Высота намотки вторичной обмотки определяется из следующего выражения:

$$\text{_____} \quad (6)$$

Диаметр каждого витка вторичной обмотки определяются из следующего выражения:

$$\dots \dots \dots (7)$$

Использование полученных соотношений в предлагаемом устройстве обеспечивает оптимальность соотношений геометрических и электрических параметров вторичной обмотки трансформатора, являющейся теплообменным элементом индукционного нагревателя. При практической реализации представленных соотношений электрическое сопротивление вторичной обмотки обуславливает выделение в ней заданной тепловой энергии с максимальной эффективностью. При этом обеспечивается упрощение конструкции индукционного нагревателя, сокращение времени его проектирования, исключение процедуры корректировки параметров индукционного нагревателя после его изготовления.

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ НАГРЕВАТЕЛЯ

Для проверки корректности разработанной методики был создан опытный образец индукционного нагревателя. Расчет проводился для мощности 6кВт.

Разработанный индукционный нагреватель состоит из двух основных узлов: силовой теплообменной системы и блока управления. Структурная схема нагревателя представлена на рис. 2.

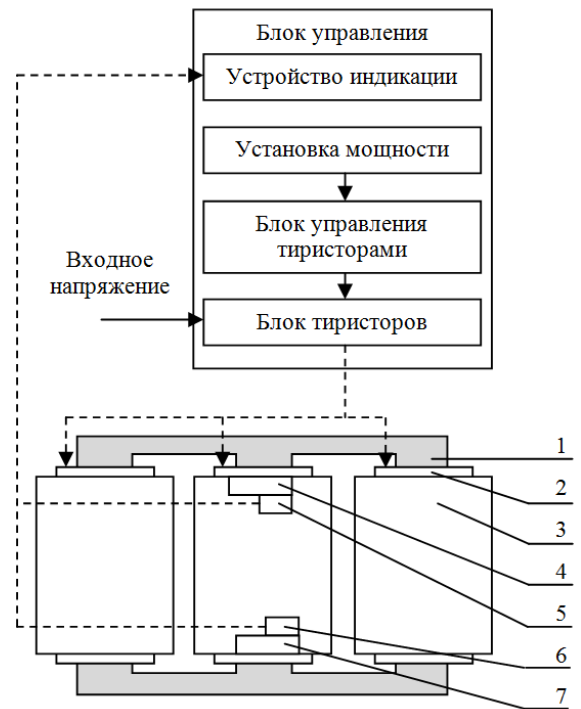
Проведенный литературный и патентный обзор подобных устройств показал, что для индукционных нагревателей нетипично применение схем управления мощностью. Однако создание такой системы позволило бы более гибко использовать индукционные нагреватели, причем модельный ряд нагревателей мог бы включать небольшое разнообразие индукционных нагревателей, каждый из которых удовлетворял бы потребности широкой группы потребителей.

Для управления мощностью созданного нагревателя была разработана схема электронного блока. Кроме того к функциям электронного блока относятся: индикация температуры теплоносителя на входе в теплообменную систему, индикация температуры на выходе теплообменной системы.

Для решения обозначенных задач управления и индикации было решено использовать тиристорную схему управления мощностью. Для управления блоком тириستоров был использован стандартный блок управления симисторами и тиристорами ОВЕН БУСТ2 [6], позволяющий управлять тиристорами как в фазовом, так и в целочисленном режиме. Управление тиристорами в целочисленном режиме в данном случае обоснованно, поскольку при пропуске целых полупериодов сетевой частоты происходит меньший нагрев блока тиристоров. Измерение

температуры теплоносителя на входе и выходе нагревателя проводилось при помощи термопар, в промышленном исполнении, в качестве устройства индикации был выбран двухканальный измеритель ОВЕН 2ТРМ0 [7], обладающий достаточной функциональностью.

Для построения сердечника магнитной системы использовалась электротехническая сталь, размеры сердечника были рассчитаны по выбранной методике, первичная обмотка была выполнена из алюминиевого провода в бумажной изоляции на каркасе из электротехнического картона, вторичная обмотка трансформатора, являющаяся одновременно теплообменной системой была выполнена из медной трубки внутренним диаметром 6мм.



1 – Сердечник магнитной системы; 2 – Первичная обмотка; 3 – Теплообменный контур; 4 – Выходной коллектор; 5 – Датчик выходной температуры; 6 – Датчик входной температуры; 7 – Входной коллектор

Рис. 2. Структурная схема индукционного нагревателя

На построенном опытном образце были проведены измерения мощности, которые подтвердили правильность методики расчета и выбора основных конструктивных элементов.

На рис. 3 представлена фотография созданного индукционного нагревателя.



Рис. 3. Внешний вид индукционного нагревателя

Потребляемая мощность созданного нагревателя составила 6кВт, к.п.д. – 96%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований предложена конструктивная схема, разработана методика расчета индукционного нагревателя жидких сред, построен опытный образец нагревателя, диапазон изменения мощности которого регулируется в пределах 600 Вт – 6 кВт.

Для расчета параметров и конструктивных элементов индукционного нагревателя жидких сред использована разработанная методика, позволяющая масштабировать созданный нагреватель, получая широкий спектр нагревательных устройств различных по мощности, способных удовлетворять потребность конечного потребителя в данном продукте.

Работа проведена совместными усилиями малых инновационных предприятий ООО «ЦУТ АлтГТУ» и ООО «Промышленная компания».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. 2301378 Российская Федерация, МПК F24Н1/20. Индукционный нагреватель жидкости [Текст] / Зверев Ю. В., Лапин А.Н., Цыкарев Ю.Б.; заявитель и патентообладатель Зверев Юрий Викторович (RU), Лапин Александр Николаевич (RU), Цыкарев Юрий Борисович (RU). - № 2005134426/06; заявл. 07.11.2005; опубл. 20.06.2007.

2. Пат. 2263418 Российская Федерация, МПК 7 Н05В6/10, F24Н1/10. Индукционный нагреватель текучих сред [Текст] / Карманов Е.Д., Шаплов С.И.; заявитель и патентообладатель Карманов Евгений Дмитриевич (RU), Шаплов Сергей Иванович (RU). - № 2001120236/09; заявл. 18.07.2001; опубл. 27.10.2005.

3. Пат. 2371889 Российская Федерация, МПК Н05В6/00. Индукционный нагреватель текучих сред [Текст] / Брагин А.Н., Бардокин В.А.; заявитель и патентообладатель Брагин Александр Николаевич (RU), Бардокин Владислав Александрович (RU). - № 2008121130/09; заявл. 26.05.2008; опубл. 7.10.2009.

4. Пат. 2031551 Российская Федерация, МПК 6 Н05В6/10. Индукционный нагреватель текучих сред [Текст] / Бойков Ю.Н., Войцеховский В.С.; заявитель и патентообладатель Бойков Ю.Н., Войцеховский В.С.. - № 5035400/07; заявл. 01.04.1992; опубл. 20.03.1995.

5. Пат. 138284 Российская Федерация, МПК F24Н1/10, Н05В6/10. Индукционный нагреватель жидких сред [Текст] / Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Ильченко Е.В., Генне Д.В., Манеев А.А., Манеев И.А., Манеев И.А., Манеева М. Г. Патентообладатель ООО «Промышленная компания». - 2013145034/06; заявл. 08.10.2013; опубл. 10.03.2014.

6. Блок управления тиристорами и симисторами БУСТ2 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.owen.ru/catalog/39158392>

7. Измеритель двухканальный ОВЕН 2ТРМ0 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.owen.ru/catalog/39394106>

Хмелев Владимир Николаевич – д.т.н., профессор кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел.(3854)432580, e-mail: vnh@bti.secna.ru

Барсуков Роман Владиславович – к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел.(3854)432570, e-mail: roman@bti.secna.ru

Ильченко Евгений Владимирович – аспирант кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, тел.(3854)432570, e-mail: iev@bti.secna.ru