

**МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ИНДУКТОРА ДЛЯ УСТРОЙСТВА ЗАЧИСТКИ****В.Е. Вишняков, Д.Б. Бородин, В.А. Кабилов**

Научный руководитель: профессор, к.т.н. В.Д. Семенов

Томский государственный университет систем управления и радиотехники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: [Volodia\\_vishnyakov@mail.ru](mailto:Volodia_vishnyakov@mail.ru)**METHODOLOGY FOR INDUCTOR DEVICES STRIPPING****V.E. Vishnyakov, D.B. Borodin, V.A. Kabirov**

Scientific Supervisor: Prof., Ph.D. V.D. Semenov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Lenin str., 40, 634050

E-mail: [Volodia\\_vishnyakov@mail.ru](mailto:Volodia_vishnyakov@mail.ru)

**Abstract.** Methodology for inductor devices stripping. A device for Stripping insulation from the enamel, operating on the principle of induction heating copper wire in the gap of the hub of the magnetic flux, it is known [1] and produced in small batches. However, the effectiveness of its work on wires with a diameter less than 0.1 mm is low and the task of developing a device for Stripping wires of small diameter and Litz wire are still relevant. The aim of the research is the study of processes in a conductor of small diameter, also landratov in a magnetic field and on the basis of the obtained results, improving the device [1]. By "improvement", refers to the ability of the device to remove the enamel insulation from wires of diameter 0.08 or smaller, and the possibility of Stripping the insulation from landratov.

**Введение.** Устройство для зачистки проводов от эмалевой изоляции, работающее на принципе индукционного нагрева медного провода в зазоре концентратора магнитного потока, известно [1] и выпускается мелкими партиями. Однако эффективность его работы на проводах диаметром менее 0,1 мм низка и задача разработки устройства зачистки для проводов малого диаметра и литцендрата, по-прежнему актуальна. Целью исследования являются изучение процессов происходящих в проводнике малого диаметра, также литцендратов в магнитном поле и на основе полученных результатов, улучшение устройства [1]. Под улучшением понимается возможность устройства удалять эмалированную изоляцию с проводов диаметра 0,08 и меньше и возможность зачистки изоляции с литцендратов.

**Методы исследования.** Исследования, проведенные в [1] показывают, что для повышения эффективности нагрева медных проводов малого диаметра необходимо повышать частоту и индукцию электромагнитного поля в концентраторе магнитного потока. Однако задача повышения частоты и индукции электромагнитного поля противоречива и требует для своего решения системного подхода, потому, что несмотря на внешнюю простоту устройства зачистки, его разработка является сложной задачей. Изучение и проектирование данной задачи должно вестись, как минимум на четырех различных по своей физической сути моделях, решающих следующие задачи:

1. Задача нахождения зависимости удельного энерговыделения  $A$  [Вт/м] в провод малого диаметра за счет индуктивных токов, при различных значениях  $d, f, \Delta B$ .

$$A(d, f, \Delta B)(\text{Вт/м}),$$

где  $A$  - удельное энергозложение [Вт/м];  $f$  - частота электромагнитного поля [Гц];  $d$  - диаметр нагреваемого провода [мм].

Для проверки модели, сравниваются результаты моделирования с численными результатами, полученными при использовании расчетного выражения [1]:

$$\frac{P}{S} = \frac{H^2}{2} \sqrt{\frac{\mu_0 \cdot \pi \cdot f}{\sigma}}, \quad (1)$$

где  $S$  - площадь сечения нагреваемого провода,  $H$  - напряженность магнитного поля, в которое помещен провод,  $f$  - частота магнитного поля,  $\sigma$  - удельная электропроводность материала.

2. Задача нахождения времени нагрева провода. Значения удельной мощности, полученные из первой модели, необходимы для расчета времени нагрева медного провода до заданной температуры с оценкой и учетом потерь тепловой энергии на излучение и уход тепла по проводнику из зоны нагрева.

$$t_n(d, T^\circ\text{C}, l, A),$$

где  $t_n$  - время нагрева провода до заданной температуры  $T^\circ\text{C}$ ;  $l$  - длина зоны нагрева провода [м].

Стоит упомянуть, что температура, при которой происходит разрушение изоляции в марке ПЭТВ составляет около  $450^\circ\text{C}$ , а значит надо учесть данный факт при расчетах времени. Задача нахождения распределения температуры в проводнике описана в литературе [2]. Для получения времени нагрева сформируем условие задачи, которое будет звучать следующим образом: в области  $x > 0$  начальная температура равна нулю. В области  $0 < x < L$  при  $t > 0$  в единице объема за единицу времени выделяется постоянное количество тепла  $A_0$ . На поверхности  $x = 0$  тепловой поток отсутствует. Распределения температуры по длине  $x$  провода в зависимости от времени  $t$  имеет следующий вид:

$$T(x, t) = \frac{\chi \cdot A_0 \cdot t}{\lambda} \left( 1 - 2i^2 \cdot \Phi^* \cdot \left( \frac{L-x}{2\sqrt{\chi \cdot t}} \right) - 2i^2 \cdot \Phi^* \cdot \left( \frac{L+x}{2\sqrt{\chi \cdot t}} \right) \right), \text{ при}$$

$$0 < x < L$$

$$T(x, t) = \frac{\chi \cdot A_0 \cdot t}{\lambda} \left( 2i^2 \cdot \Phi^* \cdot \left( \frac{x-L}{2\sqrt{\chi \cdot t}} \right) - 2i^2 \cdot \Phi^* \cdot \left( \frac{x+L}{2\sqrt{\chi \cdot t}} \right) \right), \text{ при}$$

$$x > L.$$

Где  $A_0 = \frac{P_0}{2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot L}$  - удельное количество тепла на единицу объема в единицу времени;  $\chi = \frac{\lambda}{c_p}$  -

коэффициент тепловой диффузии или коэффициент температуропроводности, характеризует изменение температуры, проходящие в единице объема вещества, обусловленное количеством тепла, протекающим в единицу времени через единичную площадку в слое единичной толщины и при единичной разности температур на его поверхности;  $\lambda$  - теплопроводность (для меди  $401 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ );  $c$  - теплоемкость (для меди

$385 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ );  $\rho$  - удельная масса (для меди  $8,92 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ).

Решая уравнение  $T(t, x=L) = T_{\text{кпэТВ}}$  численным методом при  $t = t_3$  находим время зачистки.

3. Задача построения 3D-модели концентратора магнитного потока. При известных величинах  $f$ ,  $\Delta B$ ,  $A$  необходимо спроектировать концентратор магнитного потока, выбрав типоразмер феррита, его

марку, величину зазора и индуктивность возбуждающей обмотки. Построить модель индуктора и рассчитать его собственные потери.

4. Задача проектирования транзисторного преобразователя для индукционного нагрева тонких проводов. По известным величинам частоты электромагнитного поля, индуктивности обмотки возбуждения рассчитать емкость резонансного контура и спроектировать резонансный транзисторный преобразователь на заданную мощность. Построить имитационную модель преобразователя, обеспечив стабилизацию частоты, тока или напряжения на индукторе, за счет замыкания отрицательной обратной связи. Задачу нахождения удельной величины энергозатрат можно наиболее просто решить в среде Comsol multiphysics. Задача нахождения времени может быть решена в среде Matchcad. Задача 3D модели и расчета потерь в индукторе наиболее просто спроектировать в среде Solidworks. Задача проектирования и исследования транзисторного преобразователя будет решена в среде Ltspice. Предлагаемая методика может быть положена в основу для разработки программного приложения по проектированию устройств зачистки медного провода малого диаметра от эмалевой изоляции.

**Результаты исследования.** Результатом исследования на данном этапе можно считать методику для разработки устройства удаления эмалированной изоляции проводов диаметра 0,08 мм и менее, а также литцендратов, разработанная вместе с научным руководителем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин Р.Г Устройство индукционного нагрева для снятия изоляции с проводов: Дис. канд. тех. наук. – Томск, 2014. – 171 с.
2. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел. – М.: Издательство «НАУКА», 1964. – 488 с.