

УДК 621.365.5

## МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ КЛАССА ЗАДАЧ ДВУХЧАСТОТНОГО НАГРЕВА МЕРНЫХ ЗАГОТОВОК

**Вечканов Станислав Сергеевич**

аспирант

**Проценко Александр Николаевич**

доцент

Самарский государственный технический университет, Самара

*author@apriori-journal.ru*

**Аннотация.** В статье описана новая методика решения класса задач, связанных с двухчастотным индукционным методическим нагревом мерных заготовок в продольном магнитном поле. В этой методике, в частности, реальная индукционная система представлена в виде абстрактной упрощенной системы. Правомерность такого упрощения доказывается путем сравнения характера распределения электромагнитного поля в реальной и абстрактной упрощенной системах.

**Ключевые слова:** продольное магнитное поле; система индукционного нагрева; технологическая операция; заготовка; абстрактная упрощенная система; математическая модель; двухчастотная система индукторов.

# TECHNIQUE CLASS ACTION HEATING PROBLEMS DUAL-FREQUENCY DIMENSIONAL WORKPIECES

**Vechkanov Stanislav Sergeevich**

post-graduate student

**Protsenko Alexander Nikolaevich**

associate professor

Samara State Technical University, Samara

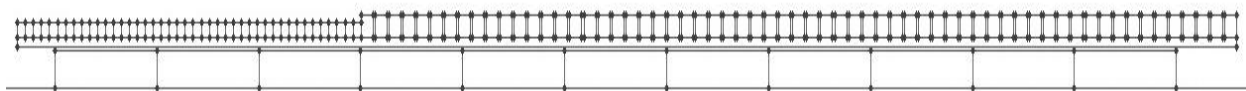
**Abstract.** The article describes a new technique for solving a class of problems associated with dual-frequency induction heating methodical dimensional workpieces in a longitudinal magnetic field. In this manner, in particular, the real induction system is represented as an abstract of the simplified system. The validity of this simplification is proved by comparing the character of the distribution of the electromagnetic field in a real simplified and abstract systems.

**Key words:** a longitudinal magnetic field; an induction heating system; technological operation; storage.

Практически во всех отраслях промышленности находят широкое применение индукционные системы для преобразования электромагнитной энергии в тепловую. Опыт применения индукционных установок для нагрева заготовок в линиях горячей обработки металла показывает, что они являются перспективными в виду своей компактности, надежности и безопасности; возможности автоматического управления нагревом. В то же время разнообразие форм индукционных нагревателей для техниче-

ской реализации одной и той же задачи, приводит к необходимости исследования ряда специфических проблем. Конструкция диктуется требованиями к нагревателю конкретным технологическим процессом, условиями работы, уровнем рабочих температур, производительностью и т.д.

В данной статье рассматривается методика решения класса задач методического индукционного нагрева мерных заготовок в продольном магнитном поле. Методика показана на примере индукционного нагрева загрузки из 11 стальных (Ст17Н3МА) цилиндрических заготовок ( $D = 120$  мм,  $l = 300$  мм) до температуры  $1200^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$  выше температуры фазовых преобразований (точка Кюри), которая для этой марки стали равна  $800^{\circ}\text{C}$ . Поэтому для нагрева необходимо использовать систему из индукторов, работающих на двух частотах [1-3]. На рисунке 1 представлен эскиз системы индукционного нагрева, необходимой для выполнения данной технологической операции [4].

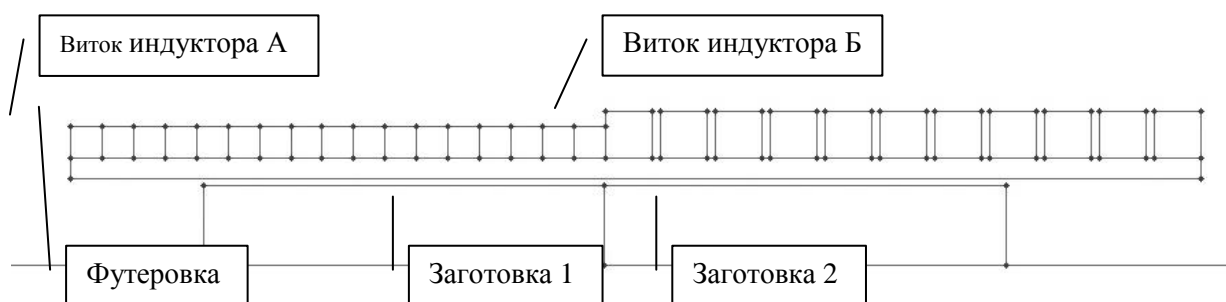


**Рис. 1. Система индукционного нагрева с полной загрузкой (11 шт)**

В статье [5] предложена методика решения аналогичной задачи путем изменения частоты в одном индукторе. Такая методика не учитывает всех особенностей двухчастотного нагрева, так как используется только один индуктор, в котором лишь переключается частота. При этом электрический расчет [4] показывает, что в этом случае необходимо использовать именно два разных индуктора, и, соответственно при создании методики этим нельзя пренебрегать.

В настоящей статье обсуждается методика расчета класса задач по нагреву мерных заготовок в двухчастотных индукторах на примере описанной выше технологической операции. Эта методика заключается в расчете последовательного нагрева заготовки сначала в индукторе с ча-

стотой 50 Гц, затем в индукторе с частотой – 1000 Гц. Для создания методики производится упрощение реальной индукционной системы. На рисунке 2 представлен эскиз упрощенной системы. Здесь загрузка из 11 заготовок заменена загрузкой из 2 заготовок. В ней 1-я заготовка заменяет 3 аналогичные, нагревается на частоте 50 Гц в индукторе А в течение времени, необходимого для нагрева трех заготовок. А 2-я заготовка заменяет 8 аналогичных, нагревается на частоте 1000 Гц в индукторе Б в течение времени, необходимого для нагрева восьми заготовок [2].

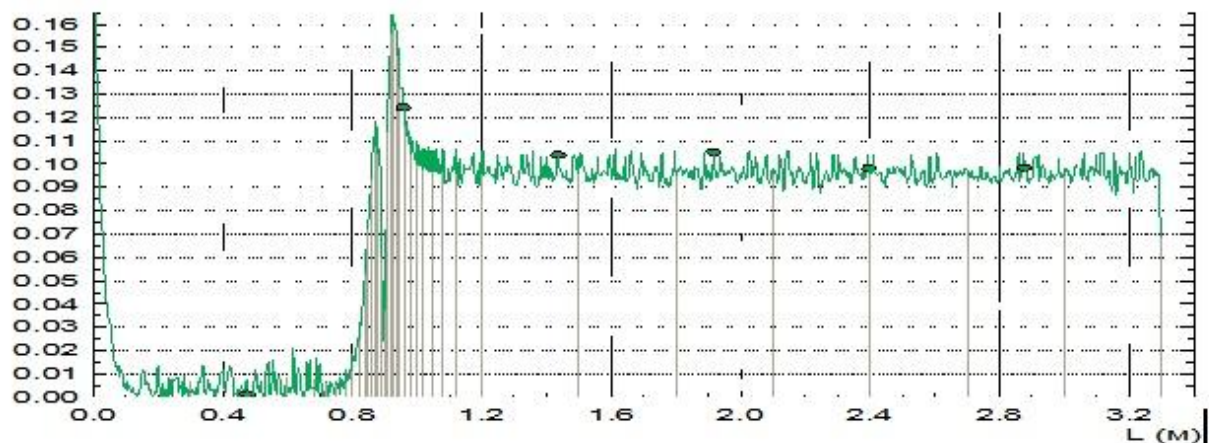


**Рис. 2. Система индукционного нагрева с 2 заготовками**

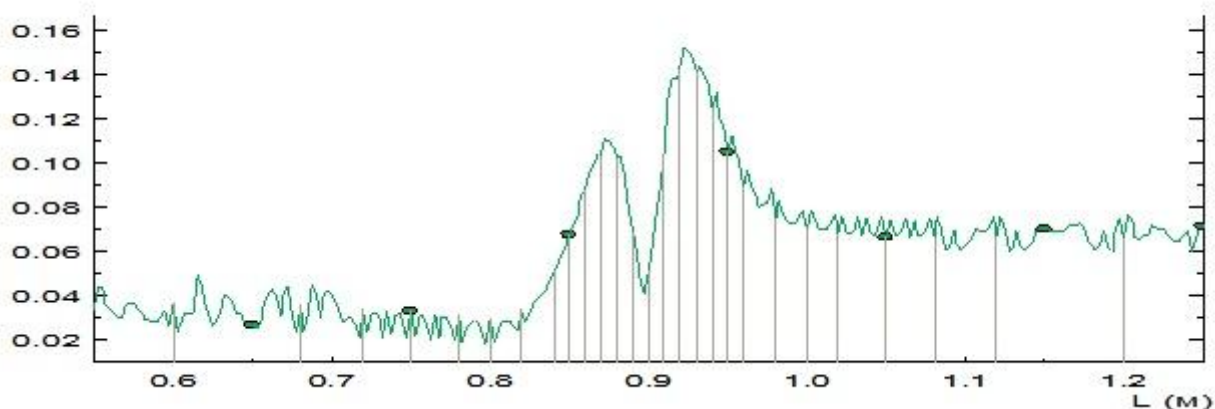
В результате сокращения длины индукционной системы возможно возрастание влияния краевых эффектов на окончательное распределение температуры в заготовках. Это может привести к невозможности применения данной методики. Для проверки работоспособности методики было проведено исследование магнитного поля в исходной и упрощенной индукционных системах.

Для численного эксперимента использована программа Elcut 5.1 pro. После описания физических свойств компонентов геометрической модели и назначения граничных условий, решались задачи вихревых токов [6]. На рисунках 3 и 6 представлены соответственно графики распределения индукции и напряженности в первоначальной (рисунок 1) системе индукционного нагрева ( $l = 3.2$  м). На рисунках 4 и 7 представлены соответственно графики распределения индукции и напряженности отдельно в зоне изме-

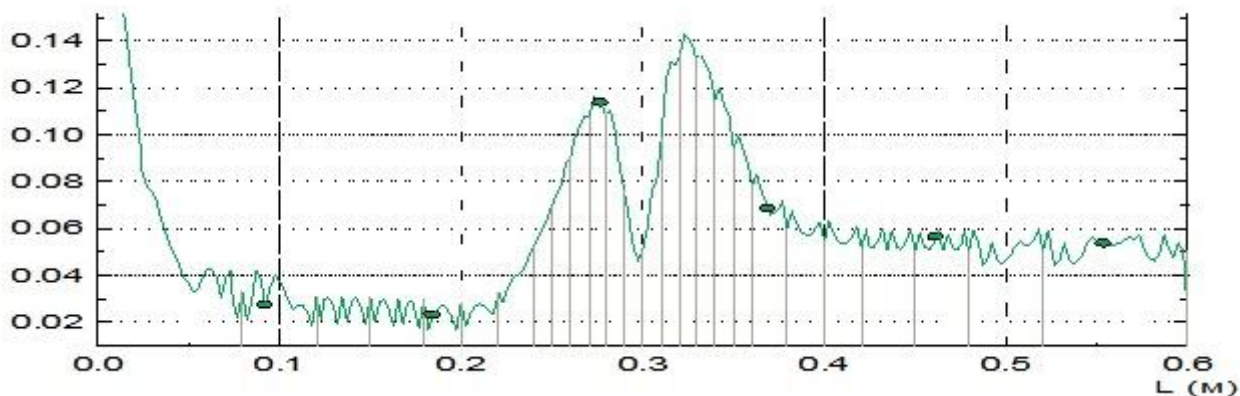
нения частоты длиной равной длине двух заготовок ( $l = 0.6$  м) в той же системе. На рисунках 5 и 8 представлены графики распределения соответственно индукции и напряженности в укороченной системе (рисунок 2).



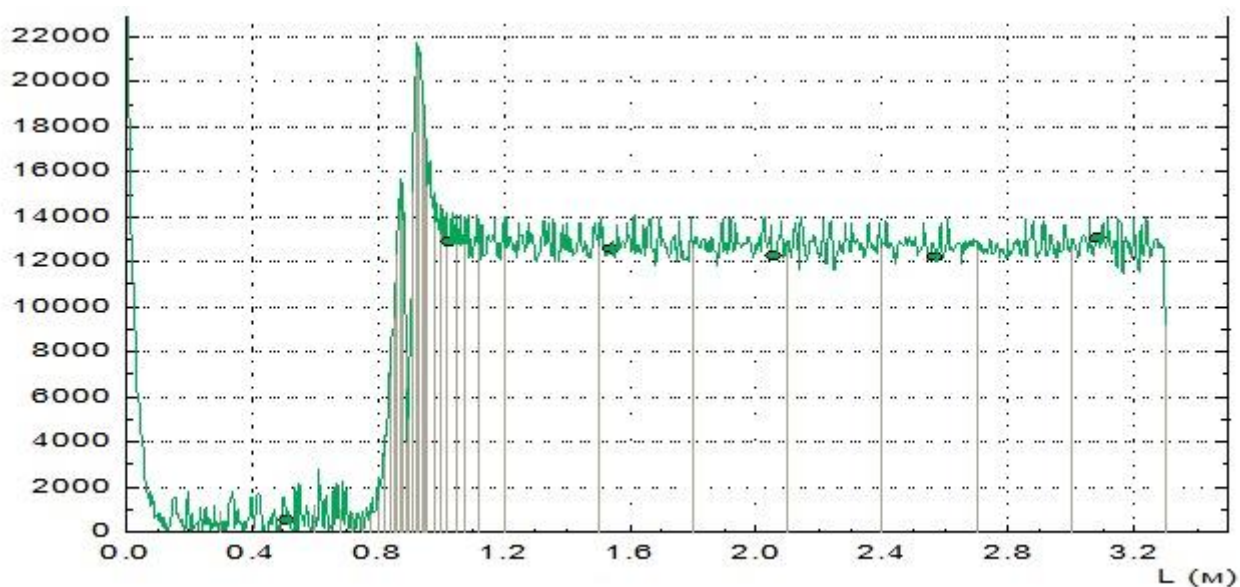
**Рис. 3. Общая картина индукции при полном количестве заготовок (11 шт)**



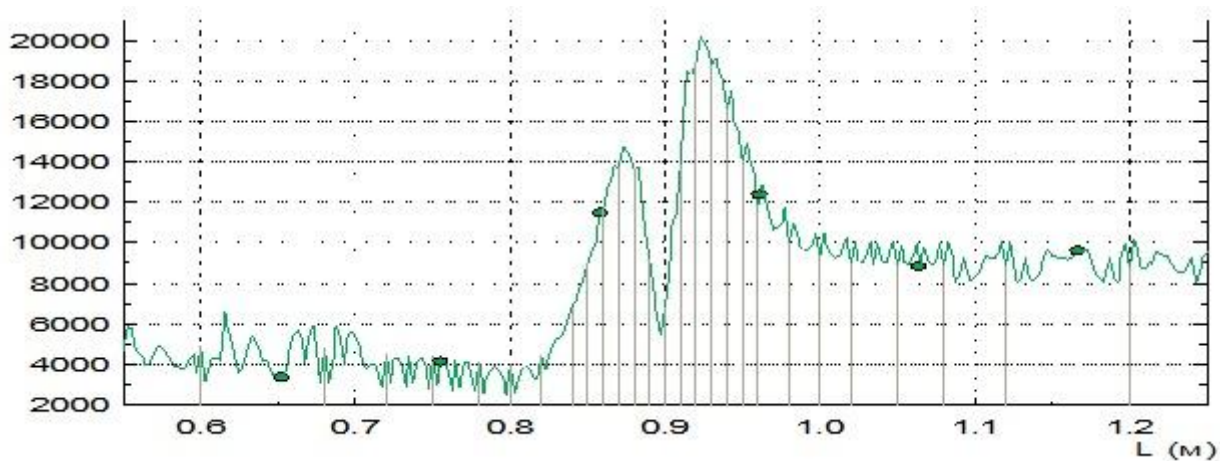
**Рис. 4. Индукция в зоне границы индукторов при полном количестве заготовок (11 шт).**



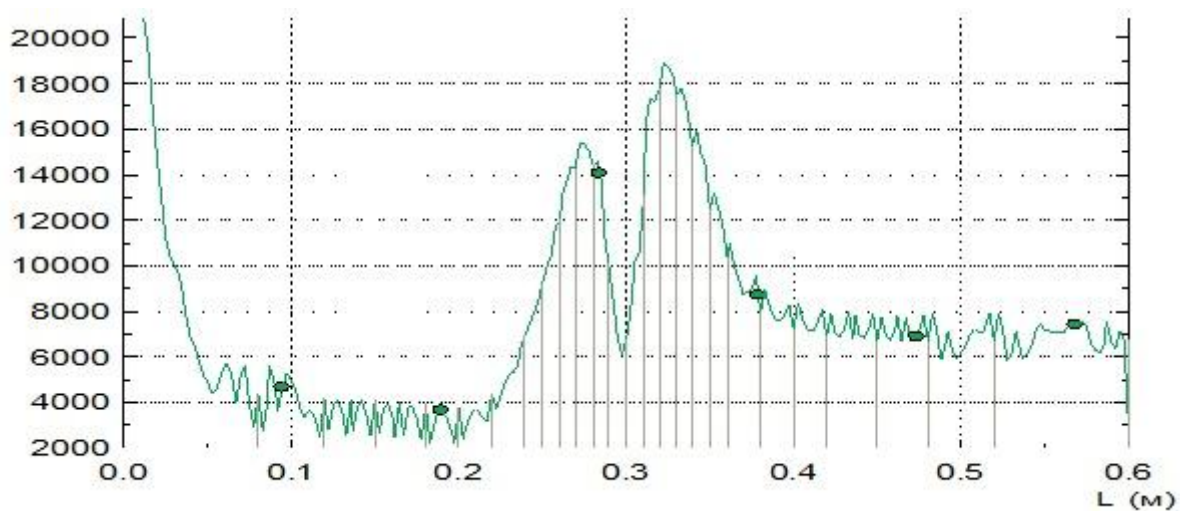
**Рис. 5. Индукция при загрузке в 2 заготовки в зоне границе индукторов**



**Рис. 6. Общая картина напряженности при полной загрузке (11 шт)**



**Рис. 7. Напряженность в зоне границы индукторов при полном количестве заготовок (11 шт)**



**Рис. 8. Напряженность при загрузке в 2 заготовки в зоне границе индукторов**

На рисунках хорошо видно, что распределение напряженности и индукции магнитного поля по длине индукционной системы в зоне изменения частоты не изменяется. Следовательно, можно сделать вывод о применимости предложенной методики для решения данного класса задач. Использование описанной методики многократно сокращает объем вычислений и, следовательно, время решения задач.

### **Список использованных источников**

1. Слухоцкий А.Е. Индукторы для индукционного нагрева / А.Е. Слухоцкий, С.Е. Рыскин. Л.: Энергия, 1974. 264 с.
2. Слухоцкий А.Е. Установки индукционного нагрева / А.Е. Слухоцкий, В.С. Немков, Н.А. Павлов. Л.: Энергоиздат, 1981. 328 с.
3. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитных сталей / А.Б. Кувалдин. М.: Энергоатомиздат, 1988. 200 с.
4. Вечканов С.С. Исследование электромагнитного и теплового полей двухсекционного индуктора для методического нагрева мерных заготовок: дис. ... магистра техники и технологии. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. 71 с.
5. Ключкова Н.Н., Обухова А.В., Проценко А.Н. Моделирование двухчастотной проходной индукционной нагревательной установки средствами программного продукта Elcut // Тр. Кольского науч. Центра РАН. 2012.-Т. 4. № 1. С. 34-38.
6. ELCUT: Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.8: Руководство пользователя. СПб.: Производственный кооператив TOP, 2010. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ELCUT.ru/free\\_doc\\_r.htm](http://ELCUT.ru/free_doc_r.htm) (дата обращения: 18.09.2011).