

УДК 620.130

## РАСЧЕТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

*В. В. ПАВЛЮЧЕНКО, Е. С. ДОРОШЕВИЧ*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

UDC 620.130

## CALCULATIONS OF DISTRIBUTIONS OF IMPULSE MAGNETIC FIELDS OF SECONDARY SOURCES

*V. V. PAVLYUCHENKO, E. S. DOROSHEVICH*

### Аннотация

Изложены результаты расчетов пространственных распределений электрического напряжения  $U(x)$ , снимаемого с преобразователя магнитного поля, при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля (ИИ). Гистерезисные ветви остаточных магнитных полей магнитного носителя представлены в виде функций арктангенса. Графики рассчитаны с помощью программного языка Delphi. Разработанные методы позволяют повысить точность контроля толщины электропроводящих объектов, неоднородности распределения удельной электропроводности  $\sigma$ , а также параметров дефектов сплошности.

### Ключевые слова:

напряженность магнитного поля, удельная электропроводность, магнитный носитель, арктангенс, гистерезисная интерференция.

### Abstract

The results of calculations of the spatial distributions of the electric voltage  $U(x)$ , taken from the magnetic field transducer, are presented for the hysteretic interference of the pulsed magnetic field (HI). The hysteretic branches of the residual magnetic fields of the magnetic carrier are represented as arctangent functions. The graphs are calculated using the Delphi programming language. The developed methods make it possible to increase the accuracy of controlling the thickness of electrically conductive objects, the inhomogeneity of the distribution of the specific electric conductivity, and also the parameters of the defects of continuity.

### Key words:

magnetic field intensity, specific electrical conductivity, magnetic carrier, arctangent, hysteresis interference.

В настоящее время ведутся интенсивные работы по развитию магнитографического метода контроля и магнитных методов контроля с визуализацией магнитных полей [1–6]. Следует отметить также теоретические и экспериментальные работы авторов [7–9] по развитию предложенных ими методов контроля с использованием гистерезисной интерференции магнитного поля. При этом измерение напряженности магнитного поля проводили с помощью дискретных датчиков магнитного поля, инфор-

мацию с которых считывали индукционной магнитной головкой. Воздействовали на датчик с контролируемым объектом импульсами магнитного поля с убывающей амплитудой и чередующейся полярностью. В результате получали временные зависимости электрического напряжения  $U(t)$ , по которым находили гистерезисные распределения остаточных магнитных полей, соответствующие распределениям свойств объекта. Свойства объекта определяли путем сравнения распределений  $U(t)$  или соответствующих им распределений  $U(x)$ , где  $x$  – координата вдоль линии замера.

Разработанные методы гистерезисной интерференции могут быть использованы с магнитными носителями, обладающими разными гистерезисными свойствами. Произведем расчеты распределений полей для магнитного носителя с ветвями гистерезиса, описываемыми зависимостями в виде функции арктангенс. Заметим, что указанные вычисления можно производить как с ветвями, образующими петли гистерезиса, так и с отдельно взятыми гистерезисными зависимостями. Расчеты и построения графиков произведены с помощью программного языка Delphi.

Пример распределения воздействующего магнитного поля показан на рис. 1.

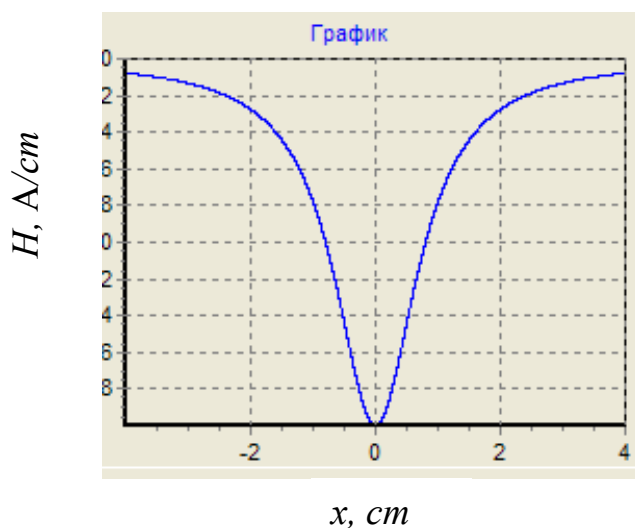


Рис. 1. Зависимость величины тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля от расстояния  $x$  до проекции оси линейного излучателя

Зависимость величины тангенциальной составляющей  $H_t$  напряженности магнитного поля, обозначенной в расчетах через  $y_1$ , от расстояния  $x$  до оси проекции индуктора на плоскость магнитного носителя определяется по формуле:

$$y_1 = -12,8 / (x^2 + 0,64), \quad (1)$$

где  $x$  измеряется в  $cm$ , а  $y_1$  – в  $A/cm$ . Линейный индуктор находится на расстоянии  $0,8 cm$  от магнитного носителя параллельно его плоскости.

Пусть разность ветвей гистерезиса остаточных магнитных полей, записанных на магнитном носителе и выраженных в виде зависимостей

электрического напряжения  $U$  от напряженности магнитного поля  $H$ , определяется по формуле:

$$U_1 = \arctg(y^1+19) - \arctg(y^1+17). \quad (2)$$

График функции (2) показан на рис.2.

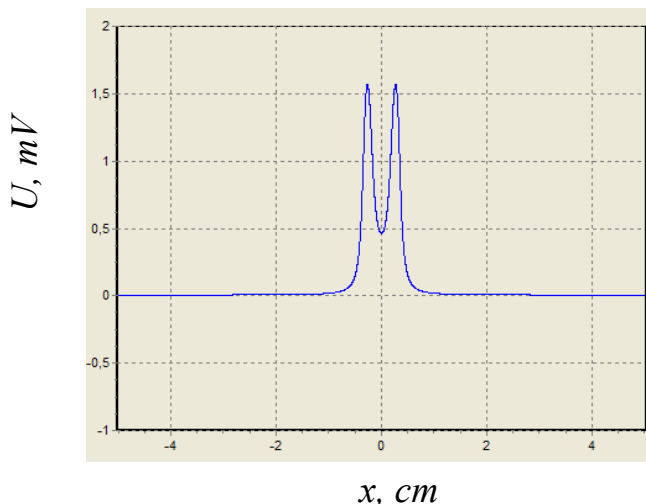


Рис. 2. Рассчитанная по формуле (2) зависимость  $U(x)$

Расчетная гистерезисная интерференционная картина для  $U(x)$ , показанная на рис.2, получена при воздействии на магнитный носитель импульсами магнитного поля величиной  $(y^1+19)$  и  $(y^1+17)$ . После этого воздействуем на магнитный носитель двумя импульсами магнитного поля величиной  $(y^1+15)$  и  $(y^1+13)$  в соответствии с формулой:

$$U_2 = \arctg(y^1+19) - \arctg(y^1+17) + \arctg(y^1+15) - \arctg(y^1+13) \quad (3)$$

и получаем график функции (3) на рис. 3.

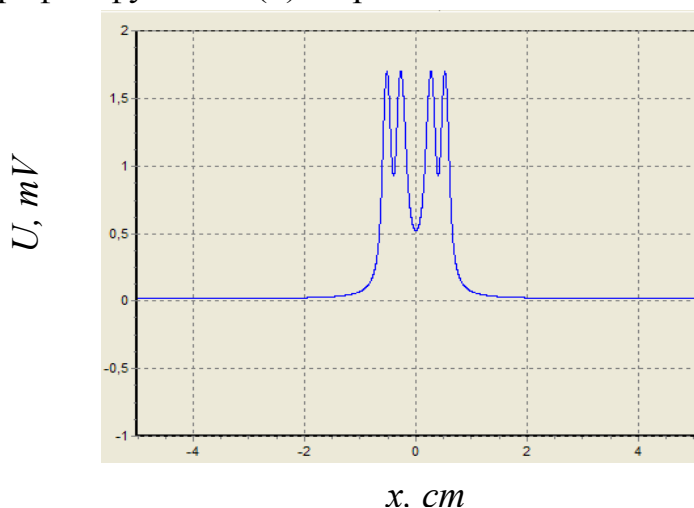


Рис. 3. Рассчитанная по формуле (3) гистерезисная интерференционная картина  $U(x)$

Воздействуя на датчик с объектом шестью и восемью импульсами, получаем соответственно графики функции  $U_3$  и  $U_4$ , изображенные на рис. 4 и рис.5.

$$U_3 = \operatorname{arctg}(y^1+19) - \operatorname{arctg}(y^1+17) + \operatorname{arctg}(y^1+15) - \operatorname{arctg}(y^1+13) + \operatorname{arctg}(y^1+10) - \operatorname{arctg}(y^1+9) \quad (4)$$

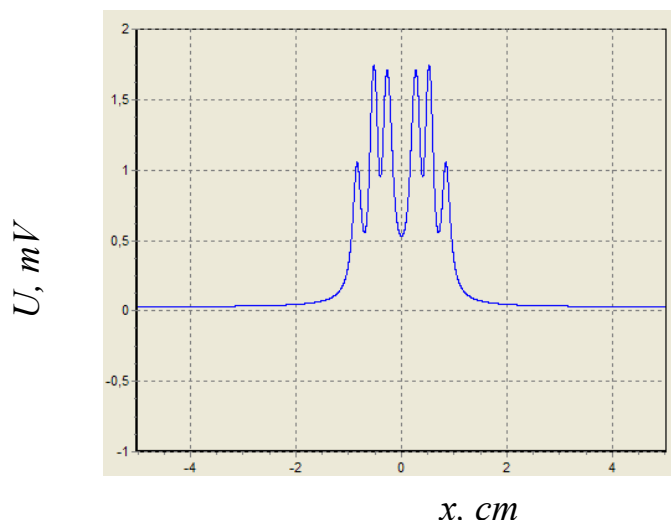


Рис. 4. Гистерезисная интерференционная картина  $U(x)$  рассчитанная по формуле (4)

$$U_4 = \operatorname{arctg}(y^1+19) - \operatorname{arctg}(y^1+17) + \operatorname{arctg}(y^1+15) - \operatorname{arctg}(y^1+13) + \operatorname{arctg}(y^1+10) - \operatorname{arctg}(y^1+9) + \operatorname{arctg}(y^1+6) - \operatorname{arctg}(y^1+4.6) + \operatorname{arctg}(y^1+3.2) - \operatorname{arctg}(y^1+2) \quad (5)$$

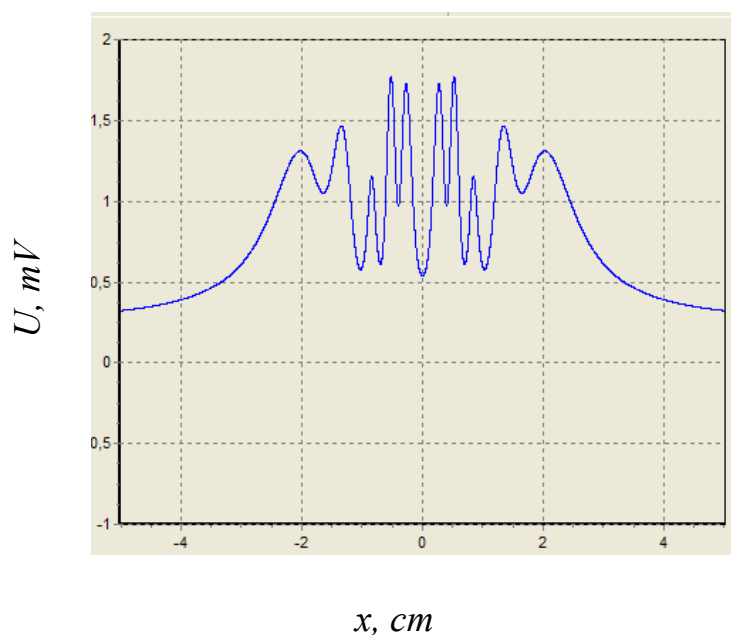


Рис. 5. Гистерезисная интерференционная картина  $U(x)$ , рассчитанная по формуле (5)

После этого строим функцию, зеркальную функции  $U_4$  и получаем их совместное изображение, показанное на рис.6.

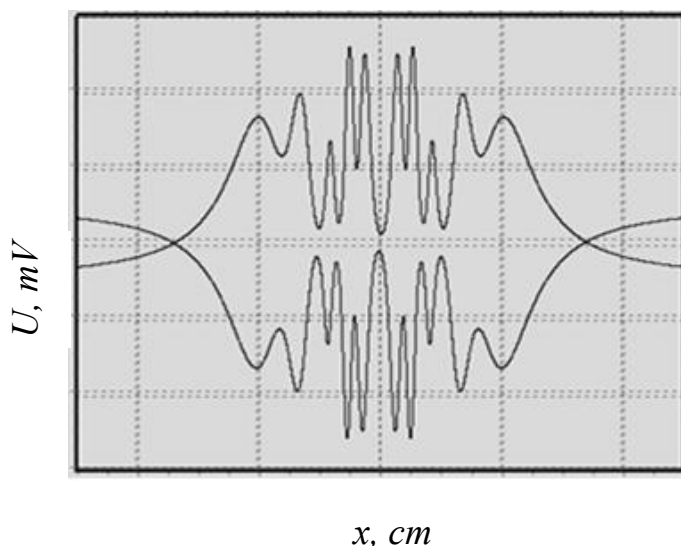


Рис. 6. Графики функции  $U_4$  и зеркальной ей функции

На основании изображенных на рис. 6 графиков формируем оптическое изображение магнитного поля (на рисунках не показано). При этом вводим в соответствие величине напряженности магнитного поля уровень серого (уровень цветности) и «закрашиваем» полученные замкнутые фигуры в соответствии с указанными уровнями сигнала. Свойства объекта находим путем сравнения полученных изображений контролируемого объекта и эталонных изображений.

Увеличим напряженность магнитного поля второго импульса, заменив в (5) (функция  $U_4$ ) аргумент  $(y^1+17)$  на аргумент  $(y^1+18)$ . Это увеличение может быть вызвано дополнительным (вторичным) полем, возникшим в момент действия второго импульса, например, полем структурной неоднородности. В результате получаем график функции  $U_5$ , изображенный на рис. 7.

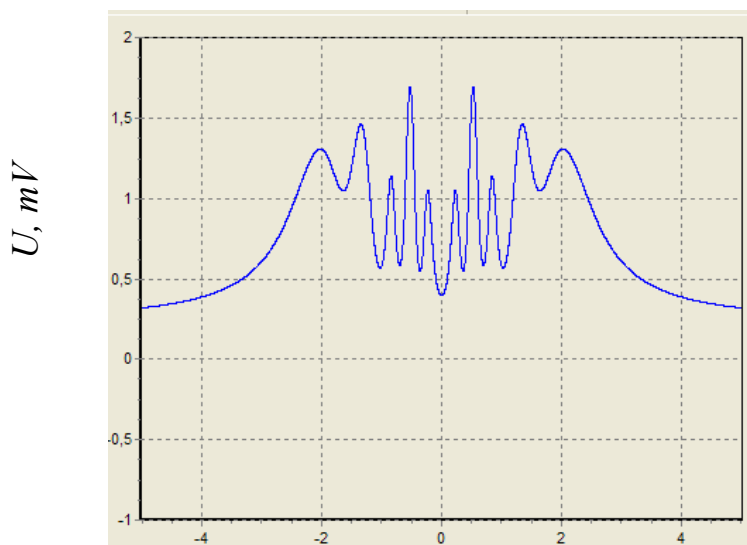


Рис. 7. Графики функции  $U_5$   $x, cm$

Сравнение графиков на рис. 5 и 7 показывает, что указанному увеличению  $H$  соответствует уменьшение главного максимума

интерференционной картины при  $x=0$  в два раза ( $1,3 \text{ mV}$  и  $0,7 \text{ mV}$ ). Точность измерений возросла в несколько раз. Изменения в распределении сигнала, снимаемого с магнитной головки, вызванные действием дополнительного магнитного поля, показаны на рис.8, где закрашенная область соответствует разности функций  $U_4$  и  $U_5$ .

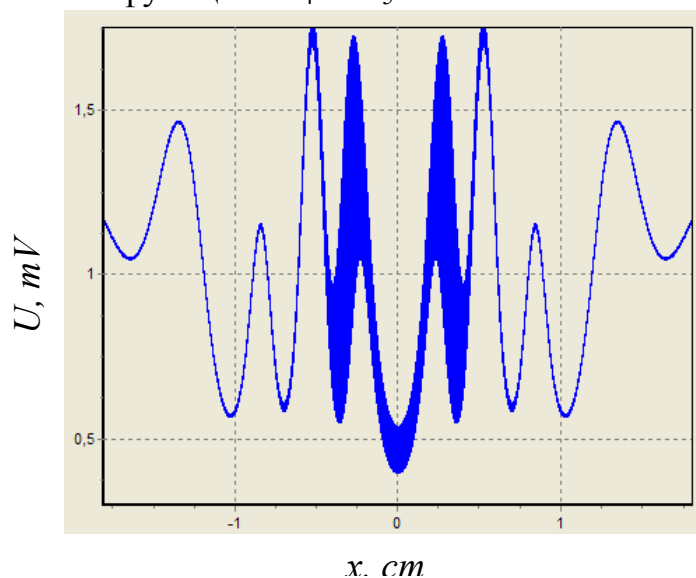


Рис. 8. Графики функции  $U_4$  и  $U_5$

### Выводы

Таким образом, приведенные результаты расчетов распределений электрического напряжения  $U(x)$ , снимаемого с преобразователя магнитного поля по линии замера, при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля ( $HI$ ). Свидетельствуют о том, что использование гистерезисных свойств остаточных магнитных полей магнитного носителя, описываемые зависимостями в виде арктангенса, позволяют повысить точность контроля свойств электропроводящих объектов. Разработанные методики могут быть использованы для расчета любых процессов, свойства которых выражены зависимостями в виде арктангенса.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Павагин, В. А.** Идентификация кольцевых сварных швов на магнитограммах дефектоскопов поперечного намагничивания основанию / В. А. Павагин, А. Ф.Матвиенко // Дефектоскопия. – 2009. – № 8. – С. 13–18.
2. **Новиков, В. А.** Магнитографический контроль объектов при их намагничивании перемещаемым постоянным магнитом через магнитоноситель. Схемы намагничивания / В. А. Новиков, А. В. Кушнер, А. В. Шилов // Дефектоскопия. – 2010. – № 6. – С. 30–35.
3. **Грузинцев, А. А.** Самосогласованный расчет магнитного поля для задач магнитной дефектоскопии. I. Исходная модель для расчета поля магнитной ленты, намагниченной от проводника с током / А. А. Грузинцев, С. П. Михайлов // Дефектоскопия. – 2011. – № 2. – С. 22–30.

4. **Горкунов, Э. С.** Различные состояния остаточной намагниченности и их устойчивости к внешним воздействиям. К вопросу о «Методе магнитной памяти» // Дефектоскопия. – 2014. – № 11. – С. 3–21.

5. **Новиков, В. А.** Измерение напряженности магнитного поля у поверхности ферромагнитного объекта / В. А. Новиков, А. В. Кушнер, А. В. Шилов // Дефектоскопия. – 2010. – № 5. – С. 25–28.

6. **Новиков, В. А.** Визуализация полей дефектов ферромагнитных объектов с помощью пленки “Flux-detector” / В. А. Новиков, А. В. Шилов, А. В. Кушнер // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 5. – С. 18–22.

7. **Павлюченко, В. В.** Одним импульсом / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 174 с.

8. **Павлюченко, В. В.** Использование магнитного гистерезиса при контроле объектов из электропроводящих материалов в импульсных магнитных полях / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2013. – № 6. – С. 53–68.

9. **Павлюченко, В. В.** Расчет распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля / В. В. Павлюченко, Е. С. Дорошевич, В. Л. Пивоваров // Дефектоскопия. – 2015. – № 1. – С. 11–20.

E-mail: [es\\_doroshevich@mail.ru](mailto:es_doroshevich@mail.ru)

