

## **КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

УДК 681.7.013.8

### **ПРИНЦИП И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛОКАЛЬНОГО ПОЛЮСНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ МАГНИТОГРАФИРОВАНИИ**

*Агалиди Ю.С., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

*Предложена теоретическая модель, описывающая пространственные распределения составляющих напряженности магнитных полей рассеяния образца в условиях локального полюсного возбуждения*

#### **Вступление**

Среди многообразных задач дефектоскопии и неразрушающего контроля может быть выделена категория задач, связанных с акцентированным исследованием поверхностных и приповерхностных слоёв ферромагнитных изделий, то есть для данных исследований наиболее значимыми являются поверхностные дефекты, неоднородности рельефа поверхности и структуры поверхностных и приповерхностных слоёв. Подобная постановка задачи нередко возникает при исследованиях параметров напряженно-деформированного состояния объектов, оценке коррозионной стойкости материалов, криминалистических исследованиях рельефных маркировочных обозначений и т.п.

Очевидно, что для успешного решения данного класса задач необходимо применение методов и средств неразрушающего контроля, обладающих пространственной избирательностью, которые позволяют реализовать селективное возбуждение и съём сигнальной информации поверхностных слоёв объекта. Известно, что ряд методов неразрушающего контроля, например, вихретоковые и акустические, обладают такой избирательностью. В некоторой степени, подобная избирательность присуща и магнитным методам, например, - магнито-порошковому, в случае возбуждения образца переменным током [1]. В то же время, перечисленные методы неразрушающего контроля и реализующие их средства не всегда удовлетворяют техническим требованиям контроля (чувствительность, разрешающая способность, достоверность) и характеристикам объекта контроля (сложная форма исследуемой поверхности, неплоскостность и шероховатость участков поверхности, наличие лакокрасочного покрытия или коррозии).

Отмеченные факторы сложности и несовершенства исследуемых поверхностей объективно ухудшают качество контроля, порой снижая его достоверность до неприемлемого уровня. Одним из известных решений, позволяющих минимизировать влияние этих факторов, является, например, применение гибкого

промежуточного магнитного носителя в магнитографическом методе [2]. Несмотря на отмеченное преимущество магнитографический метод в его традиционной реализации [3,4] не обладает пространственной избирательностью, имеет низкую чувствительность (минимальный размер дефекта менее 10% толщины металла контролируемого изделия [2]) и невысокое пространственное разрешение (200-500мкм).

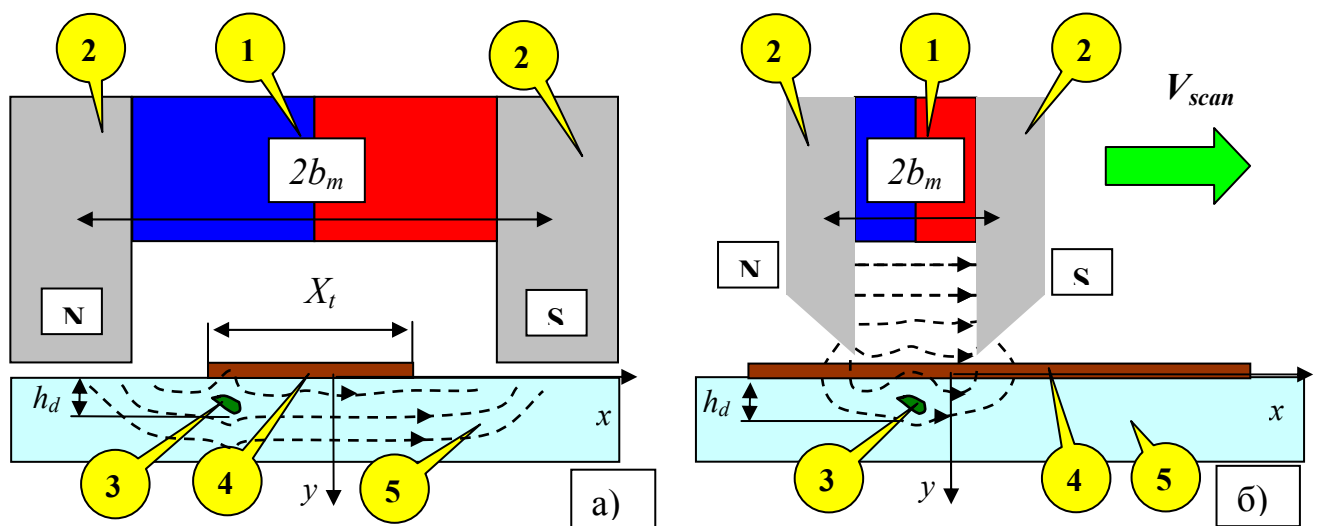
В решении вопроса повышения чувствительности и избирательности магнитографирования поверхностных слоёв, представляет интерес подход к намагничиванию образца и способ магнитной записи возбуждённых полей рассеяния, изложенный в патенте на изобретение [5], который заключается в локализации магнитного поля намагничивания в области магнитной записи.

### Постановка задачи

В настоящей работе предстоит выполнить формализацию основных положений принципа локального намагничивания [5], в дальнейшем – локального полюсного возбуждения (ЛПВ). Необходимо предложить теоретическую модель магнитных полей рассеяния в условиях ЛПВ, последующий анализ которой позволит установить основные физические закономерности процесса магнитографирования для данного принципа намагничивания, а также влияние параметров генератора ЛПВ на функцию остаточной намагничённости.

### Формализация основных положений принципа ЛПВ

Основные положения принципа намагничивания ЛПВ, отличающие его от традиционного для магнитографии принципа объёмного полюсного намагничивания (ОПВ), заключаются в следующем (Рис. 1):



1 – источник постоянного магнитного поля; 2 – магнитопровод; 3 – дефект;  
4 – магнитная лента; 5 – исследуемый ферромагнитный образец

Рисунок 1 – Принципы намагничивания ОПВ (а) и ЛПВ (б)

1. Малая база намагнічivanja ЛПВ ( $b_m \approx h_d$ ;  $2b_m \gg X_l$ ) должна обеспечивать локализацию магнитного поля в зазоре между генератором поля и поверхностью образца, а также в относительно небольшом объёме приповерхностных слоёв образца.

2. Магнитная лента находится между генератором намагнічivanja ЛПВ и поверхностью образца, пребывая в области высоких напряжённостей магнитных полей рассеяния, близких по амплитуде к коэрцитивной силе материала магнитного носителя.

3. Генератор намагнічivanja ЛПВ должен сканировать исследуемую поверхность ( $V_{scan}(t) > 0$ ) в продольном направлении, относительно ориентации магнитной ленты.

### **Синтез теоретической модели магнитных полей рассеяния в условиях ЛПВ**

Для описания модели схемы ЛПВ представляется уместным применить аналитические подходы, используемые как в теории магнитной дефектоскопии, так и в теории магнитной записи сигналов, поскольку генератор ЛПВ в результате выполненной формализации, по своим параметрам и функциональному назначению приближается к магнитной головке записи.

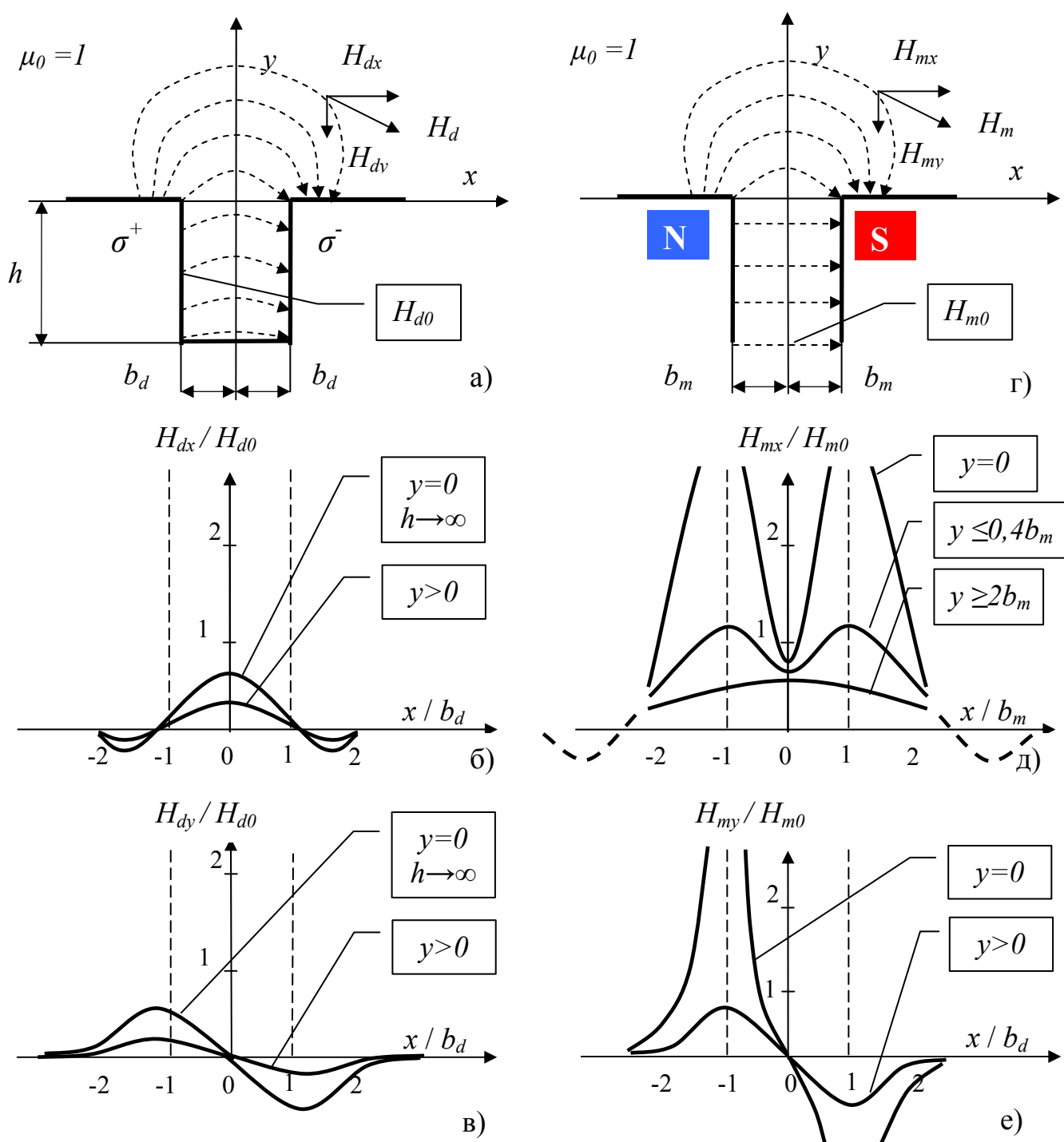
В теории магнитной дефектоскопии [4] аналитически решены задачи вычисления поля для некоторых моделей дефектов в безграничном пространстве с постоянной магнитной проницаемостью  $\mu = \text{const}$  (линейный случай). Решения для полей рассеяния дефектов получены на основе решения уравнений Максвелла ( $\text{div} \mathbf{B} = 0$ ,  $\text{rot} \mathbf{H} = 0$ ) с учетом граничных условий: непрерывности тангенциальной составляющей напряжённости магнитного поля на границе среды дефекта 1 и пространства 2 ( $H_{\tau 1} = H_{\tau 2}$ ); непрерывности нормальной составляющей магнитной индукции ( $B_{n1} = B_{n2}$ ).

В работе [4], получены зависимости, описывающие поле над поверхностью дефекта типа «наружная трещина» (рис. 2а) для тангенциальной  $H_{dx}$  и нормальной  $H_{dy}$  составляющих напряжённости поля дефекта (рис. 2б, в).

В работе [6] по теории магнитной записи сигналов приведена модель поля рассеяния магнитной головки в статическом режиме (Рис. 2 г) для среды, магнитная проницаемость которой существенно уступает проницаемости сердечника головки.

Решение задачи магнитостатики для определения полей рассеяния МГ записи получено с использованием метода конформных отображений. При этом был принят ряд допущений: идеализация геометрии МГ (полюса с прямоугольными гранями, длина и глубина которых бесконечно велики); длина зазора бесконечно велика, а ширина весьма мала.

Относительная напряжённость составляющих поля рассеяния магнитной головки представлена графическими зависимостями рис. 2д, е).

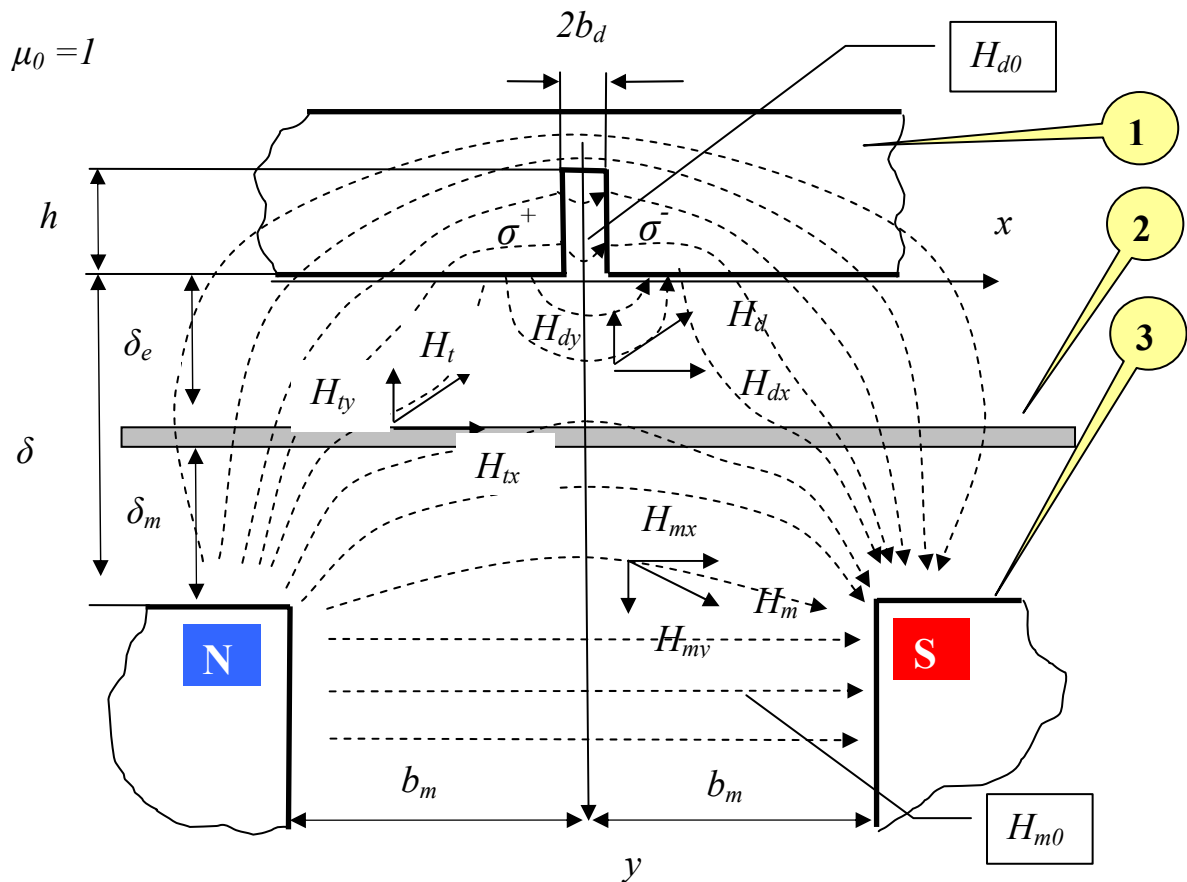


а, г – схеми моделей; б, д – функціїотносительнойнапряжённости тангенциальной составляющей поля; в, е – функціїотносительнойнапряжённости нормальной составляющей поля

Рисунок 2 – Магнитные поля рассеяния дефекта и магнитной головки записи

Сущность предлагаемой математической модели намагничивания в условиях ЛПВ состоит в том, что магнитные поля рассеяния в плоскости магнитной ленты  $H_t$  рассматриваются как следствие действия двух генераторов полей (совместное действие которых соответствует принципу суперпозиции) – собственно генератора ЛПВ (первичный генератор полей напряжённостью  $H_m$  (в зазоре -  $H_{m0}$ )), и намагниченного образца с дефектом (вторичный генератор полей, напряжённостью  $H_d$ ) (рис. 3):

$$\vec{H}_t = \vec{H}_m + \vec{H}_d \quad (1)$$



1 – ферромагнитный образец с поверхностным дефектом; 2 – магнитная лента;  
3 – генератор намагничивания ЛПВ

Рисунок 3 – Схема модели магнитных полей рассеяния поверхностного дефекта в условиях ЛПВ

Функции пространственного распределения магнитных полей рассеяния в условиях ЛПВ получены для параметров и системы координат схемы (рис. 3) с использованием аналитических методов расчётов магнитных цепей на основе синтеза известных моделей магнитных полей рассеяния: поверхностного дефекта [4] и магнитной головки записи [6].

Для определения нормальной и тангенциальной составляющих напряженности магнитного поля рассеяния на основе параметров модели (рис. 3) при

условиях: постоянной магнитной проницаемости образца  $\mu_e = \text{const}$  (линейный случай); непрерывности составляющих магнитного поля на границе сред ( $H_{\tau 1} = H_{\tau 2}$  и  $\mu_1 \cdot H_{n1} = \mu_2 \cdot H_{n2}$ ); идеализации геометрии генератора ЛПВ (полюса с прямоугольными кромками, длина и глубина которых бесконечно велики) получены следующие зависимости.

Нормальная и тангенциальная составляющие напряженности магнитного поля рассеяния генератора ЛПВ  $H_{mx}$  и  $H_{my}$  для зоны неконтакта ( $0 < y < \delta$ ):

$$H_{mx} = H_m \cdot \cos \left[ \frac{1}{2} \arctg \left( \frac{-2x \cdot (\delta - y)}{|x^2 - (\delta - y)^2 - b_m^2|} \right) \right], \quad (2)$$

$$H_{my} = H_m \cdot \sin \left[ \frac{1}{2} \arctg \left( \frac{-2x \cdot (\delta - y)}{|x^2 - (\delta - y)^2 - b_m^2|} \right) \right],$$

где модуль напряженности магнитного поля рассеяния генератора ЛПВ  $H_m$  для области зоны неконтакта ( $0 < y < \delta$ ) определяется как:

$$H_m = \frac{2H_{m0} \cdot b_m}{\pi \cdot \sqrt[4]{[x^2 - (\delta - y)^2 - b_m^2]^2 + 4x^2(\delta - y)^2}} \quad (3)$$

Нормальная и тангенциальная составляющие напряженности магнитного поля рассеяния дефекта  $H_{dx}$  и  $H_{dy}$  для области зоны неконтакта ( $0 < y < \delta$ ) определяются как:

$$H_{dx} = \frac{H_{mx\delta} \cdot \mu_m \cdot b_m}{\mu_e \cdot b_d} \cdot \left[ \arctg \frac{h \cdot (x + b_d)}{(x + b_d)^2 + y \cdot (y + h)} - \arctg \frac{h \cdot (x - b_d)}{(x - b_d)^2 + y \cdot (y + h)} \right], \quad (4)$$

$$H_{dy} = \frac{H_{my\delta} \cdot \mu_m \cdot b_m}{\mu_e \cdot b_d} \cdot \ln \left[ \frac{(x + b_d)^2 + (y + h)^2}{(x + b_d)^2 + y^2} \cdot \frac{(x - b_d)^2 + y^2}{(x - b_d)^2 + (y + h)^2} \right],$$

где функционалы напряженностей для плоскости поверхности исследуемого образца  $H_{mx\delta}$ ,  $H_{my\delta}$  и  $H_{m\delta}$  получены как частный случай формул (2) и (3) при условии ( $y=0$ ):

$$H_{mx\delta} = H_{m\delta} \cdot \cos \left[ \frac{1}{2} \arctg \left( \frac{-2x \cdot \delta}{|x^2 - \delta^2 - b_m^2|} \right) \right], \quad (2a)$$

$$H_{my\delta} = H_{m\delta} \cdot \sin \left[ \frac{1}{2} \arctg \left( \frac{-2x \cdot \delta}{|x^2 - \delta^2 - b_m^2|} \right) \right],$$

$$H_{m\delta} = \frac{2H_{m0} \cdot b_m}{\pi \cdot \sqrt[4]{(x^2 - \delta^2 - b_m^2)^2 + 4x^2\delta^2}} \quad (3a)$$

Полученные функциональные зависимости позволяют выполнить, в качестве иллюстрации, численный расчёт математической модели схемы ЛПВ (рис. 4).

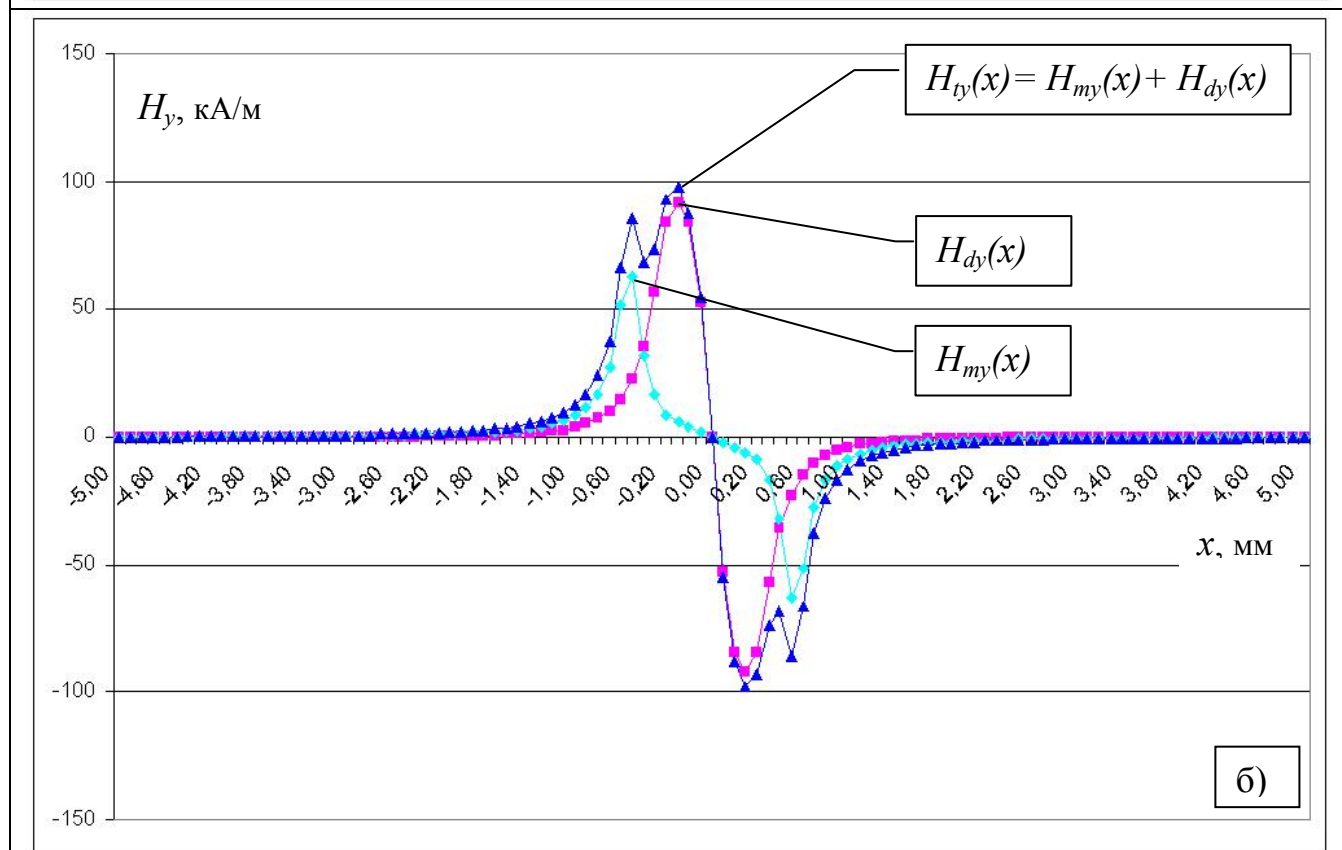
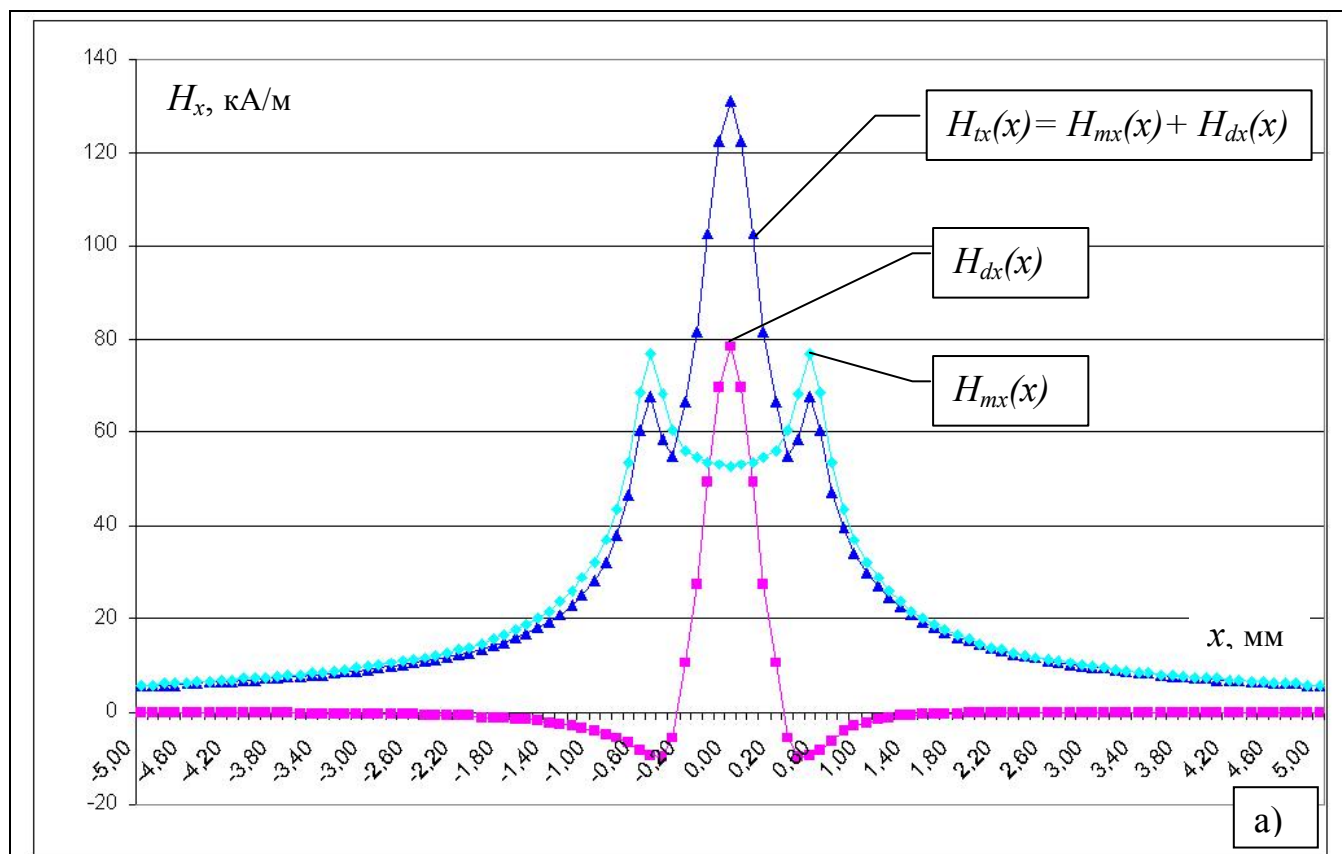


Рисунок 4 – Результати расчёта математической модели схемы ЛПВ - графики функций составляющих напряжённости полей рассеяния в плоскости магнитного носителя  $y=0,2$  мм: а) продольной  $H_{tx}(x)$ ; б) поперечной  $H_{ty}(x)$

## **Выводы**

1. Выполнена формализация основных положений принципа локального полюсного возбуждения для магнитографирования поверхностных и приповерхностных слоёв ферромагнитных изделий.

2. Предложена математическая модель намагничивания, описывающая пространственные распределения напряженности магнитных полей рассеяния образца в условиях локального полюсного возбуждения.

3. Предложенная теоретическая модель нуждается в оценке качества и исследовании её поведения, с целью установления основных физических закономерностей процесса магнитографирования для данного принципа намагничивания, а также определения влияния параметров генератора ЛПВ на функцию остаточной намагничённости магнитограммы, что и является предметом дальнейших исследований.

## **Литература.**

1. Дж. Дохерти. Неразрушающие испытания // Экспериментальная механика. Под ред. А. Кобояси. Кн.2. – М.: Мир, 1990. – С.43-82.
2. ГОСТ 25225-82. Контроль неразрушающий. Швы сварных соединений трубопроводов. Магнитографический метод; Введ. 23.04.1982 – М.: Изд-во стандартов. 1982 - 16с.
3. Хусанов М.Х. Магнитографический контроль сварных швов. М.: Недра, 1973. – 176 с.
4. Щербинин В.Е., Горкунов Э.С. Магнитный контроль качества металлов. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. - 265с.
5. Патент на винахід (Україна) №42880 від 15. 11. 2001р., Бюл. №10, 7G 01N 27/82, 27/83: Спосіб магнітооптичного контролю виробу. Заявники патенту: Лєвий С.В., Агаліді Ю.С. По заявці № 99074257, від 22.07.1999. Приоритет від 05.10.2001. Авторы винаходу: Лєвий С.В., Агаліді Ю.С.
6. Лауфер М.В., Крыжановский И.А. Теоретические основы магнитной записи сигналов на движущийся носитель. К.: Вища школа, 1982. -270 с.

**Агаліді Ю.С. Принцип та теоретична модель локального полюсного збудження при магнітографуванні.**

Запропоновано теоретичну модель, яка описує просторові розподіли складових напруженості магнітних полів розсіяння зразку в умовах локального полюсного збудження.

**U. Agalidy. Principle and theoretical model of local polar stimulation for magnetographical.**

Theoretical model, which describe spatial allocation of examples magnetic field strength of local polar stimulation, was proposal.

*Надійшла до редакції  
10 червня 2006 року*