

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

УДК 681.7.013.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНОГО  
ПОЛЮСНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ МАГНИТОГРАФИРОВАНИИ**

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

*Исследовано влияние параметров генератора локального намагничивания на возбуждение магнитных полей рассеяния поверхностного дефекта по результатам анализа поведения теоретической модели*

**Вступление**

В работе [1], посвящённой вопросам развития и специализации методов магнитного контроля, представлены принципиальные основы и теоретическая модель процесса локального полюсного возбуждения (ЛПВ) при магнитографировании. Предполагается, что наиболее эффективным, магнитографирование в условиях ЛПВ может быть в сочетании с последующей магнитооптической визуализацией полученных магнитограмм, как это предложено в патенте на изобретение [2].

Применение принципа ЛПВ при магнитографировании может обеспечить повышение избирательности магнитографирования дефектов поверхностных слоёв, за счет концентрации магнитного потока возбуждения в поверхностных слоях образца. Возможно также повышение чувствительности магнитографирования, за счет локализации магнитного поля намагничивания в области магнитной записи, которая позволит использовать магнитное поле рассеяния генератора ЛПВ для выполнения магнитной записи полей рассеяния дефектов в условиях подмагничивания.

Очевидно, что перечисленные ожидаемые преимущества, могут быть получены только в результате успешной технической реализации предложенного принципа ЛПВ, что, в свою очередь, обуславливает необходимость анализа теоретической модели [1] с целью исследования физических закономерностей магнитографирования в условиях ЛПВ.

**Постановка задачи**

В данной работе предстоит выполнить исследование поведения теоретической модели [1], с целью установления основных физических закономерностей процесса магнитографирования для данного принципа намагничивания и определения влияния параметров генератора ЛПВ на функцию остаточной намагниченности магнитограммы.

### **Исследование поведения теоретической модели ЛПВ при изменении её параметров**

Рассматриваемая модель ЛПВ, по характеристикам объекта и средств моделирования, относится к категории детерминированных аналитических моделей. По цели моделирования (выявление качественных закономерностей процессов намагничивания и магнитографирования при ЛПВ), рассматриваемая модель относится к классу гносеологических. Сформулированная выше цель моделирования определяет достаточность приближённого подхода при построении модели.

Каких-либо строгих, формализованных процедур для проверки гносеологических моделей – нет, в то же время, очевидно, что, если гипотезы лежащие в основе модели справедливы и непротиворечивы, то поведение модели должно отвечать критериям физичности. Для рассматриваемой модели магнитографирования в условиях ЛПВ, такими критериями могут являться количество и расположение экстремумов функции, описывающей пространственное распределение напряжённости магнитных полей рассеяния.

Исследование поведения модели [1] проводилось при помощи численных расчётов функции продольной составляющей напряжённости поля  $H_{ix}(x)$  в плоскости магнитного носителя (продольная запись) для ряда характерных значений параметров схемы. Численные расчёты выполнены в программе EXCEL, с использованием формул модели [1], для номинальных значений параметров схемы модели: напряжённость магнитного поля в зазоре генератора ЛПВ  $H_{0m}=150\text{кА/м}$ ; полуширина зазора генератора ЛПВ  $b_m=0,5\text{мм}$ ; дистанция между поверхностью образца и торцом генератора ЛПВ  $\delta=0,4\text{мм}$ ; поверхностный дефект типа «наружная трещина» (полуширина  $b_d=0,05\text{мм}$ ; глубина  $h=0,1\text{мм}$ ); дистанция между поверхностью образца и магнитной лентой  $\delta_e=0,2\text{мм}$ ; смещение генератора ЛПВ относительно центра дефекта в направлении сканирования  $\Delta x = 0\text{мм}$ . Функции напряжённостей магнитного поля рассчитываются в окрестности дефекта  $-5 \leq x \leq 5\text{мм}$ .

Влияние ширины зазора генератора ЛПВ  $b_m$  на функцию продольной составляющей напряжённости магнитных полей рассеяния  $H_{ix}(x)$  в плоскости магнитного носителя отражено семейством графиков рис. 1а. Уменьшение ширины зазора генератора ЛПВ  $b_m$  приводит к значительному росту напряжённости поля рассеяния генератора ЛПВ в плоскости магнитного носителя, и ослаблению поля рассеяния дефекта, в результате чего 2 симметричных экстремума от кромок зазора генератора ЛПВ, для случая  $b_m = 1\text{мм}$ , приближаются по амплитуде к величине центрального экстремума (поле рассеяния дефекта в сумме с подмагничиванием генератора ЛПВ). Иными словами, уменьшение ширины зазора генератора ЛПВ  $b_m$  создаёт преимущественные условия для подмагничивания при записи в ущерб возбуждению сигнала, что может быть использовано в качестве параметра регулирования при магнитографировании.

С точки зрения оценки избирательности магнитографирования поверхностных слоёв представляет интерес семейство графиков рис. 1б, характеризующее

зависимость продольной составляющей напряжённости магнитного поля возбуждения  $H_{ex}(y)$  по глубине образца от параметра  $b_m$ .

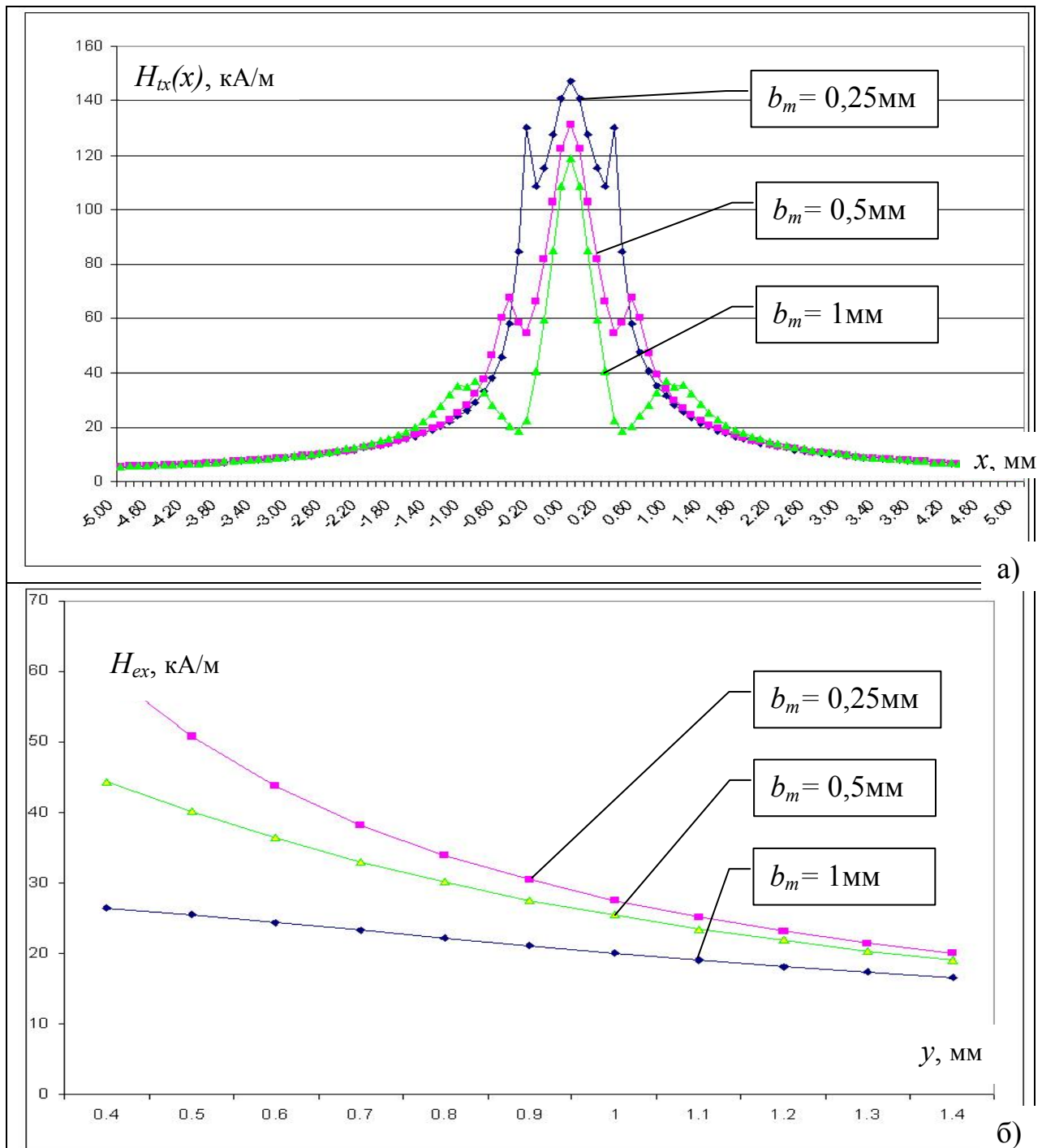


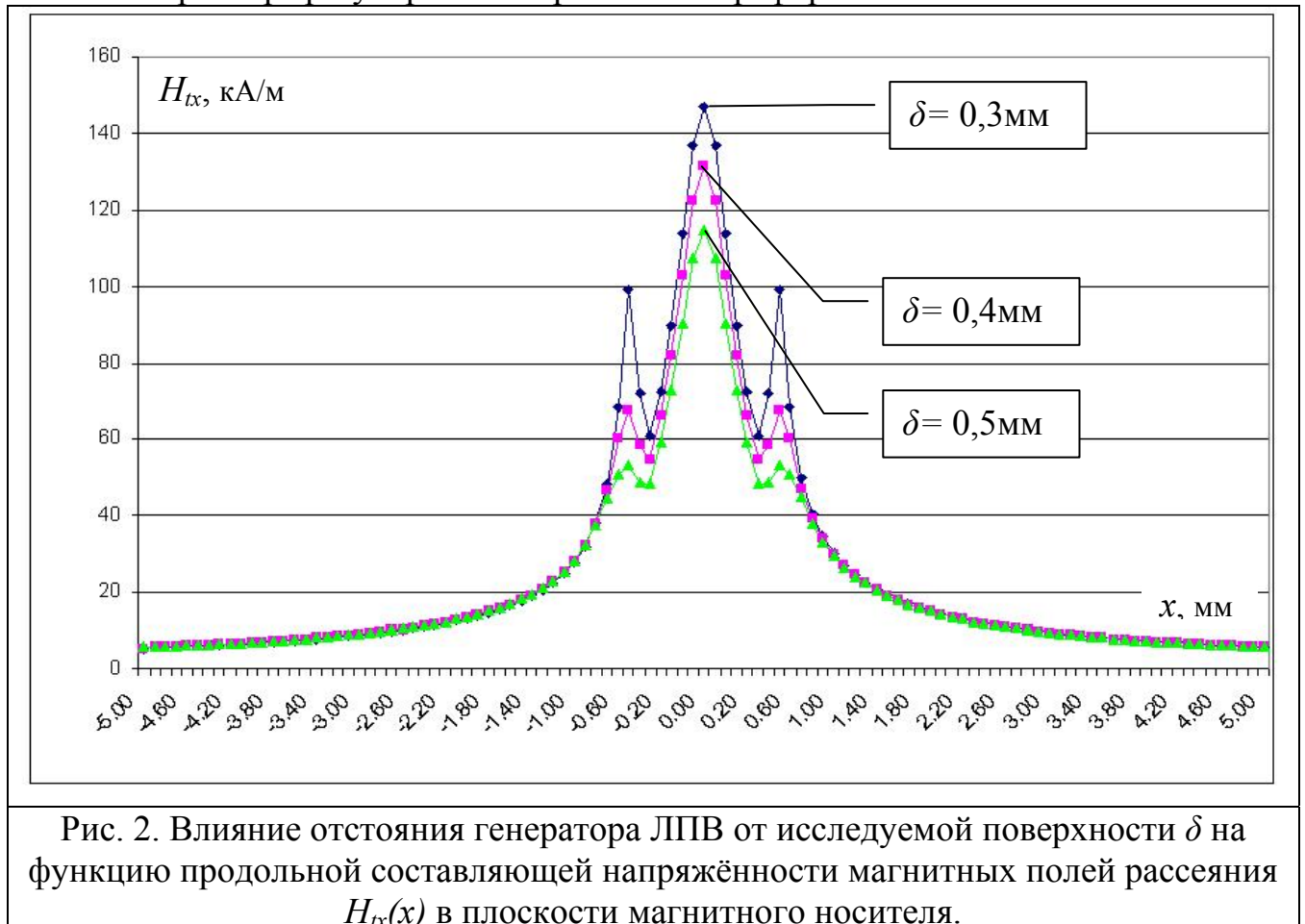
Рис. 1. Влияние ширины зазора генератора ЛПВ  $b_m$  на функции: а) продольной составляющей напряжённости магнитных полей рассеяния  $H_{tx}(x)$  в плоскости магнитного носителя; б) продольной составляющей напряжённости магнитного поля возбуждения  $H_{ex}(y)$  по глубине образца.

Уменьшение ширины зазора генератора ЛПВ  $b_m$  приводит к росту нелинейности функции напряжённости магнитного поля возбуждения  $H_{ex}(y)$  по глубине

образца. При этом наибольшие значения напряжённости магнитного поля соответствуют поверхностным слоям, которые и являются объектом дефектоскопии, соответственно постановке задачи в [1]. Т. о. уменьшение ширины зазора генератора ЛПВ  $b_m$  способствует повышению соотношения сигнал/шум при дефектоскопии поверхностных слоёв.

Влияние отстояния генератора ЛПВ от исследуемой поверхности  $\delta$  на функцию продольной составляющей напряжённости магнитных полей рассеяния  $H_{tx}(x)$  в плоскости магнитного носителя представлено на рис. 2, где приведены графики  $H_{tx}(x)$  для различных значений неконтакта ( $\delta_1= 0,3\text{мм}$ ;  $\delta_2= 0,4\text{мм}$ ;  $\delta_3= 0,5\text{мм}$ ).

Анализ полученных зависимостей показывает, что, по мере приближения генератора ЛПВ к поверхности объекта и магнитному носителю, рост напряжённости поля рассеяния генератора ЛПВ (локальные экстремумы  $x = \pm b_m$ ) происходит опережающими темпами, по отношению к росту напряжённости поля рассеяния дефекта (центральный экстремум  $x = 0$ ), что позволяет использовать величину  $\delta$  в качестве параметра регулирования при магнитографировании.



Поскольку, как отмечалось при описании принципа ЛПВ в [1], магнитографирование данным способом является динамическим процессом, выполняемым в ходе сканирования генератором ЛПВ исследуемой поверхности и закрепленной МЛ, то рассматриваемая модель должна также адекватно отображать про-

цесс перемещения генератором ЛПВ. На рис. 3 приведены графики численных расчётов функции  $H_{tx}(x)$  в зависимости от возможного положения генератора ЛПВ относительно дефекта ( $\Delta x = 0$ мм;  $\Delta x = 0,5$ мм;  $\Delta x = 2$ мм). Прочие параметры схемы модели соответствуют приведенным выше номинальным значениям.

Функция  $H_{tx}(x)$  рассчитанная из соотношений модели [1] для симметричного расположения генератора ЛПВ и дефекта ( $\Delta x = 0$ мм) приведена на рис. 3а. Анализ полученных результатов показывает, что количество и расположение экстремумов функции, описывающей пространственное распределение напряжённости магнитных полей рассеяния, соответствует физическим свойствам основных элементов модели – поверхностного дефекта и генератора намагничивания. В частности, функция, описывающей пространственное распределение продольной составляющей напряжённости магнитных полей рассеяния, имеет 3 экстремума, соответствующих расположению центра дефекта и кромок полюсов генератора магнитного поля ЛПВ.

Амплитуды симметричных максимумов функции поля рассеяния генератора ЛПВ  $H_{mx}(x, \Delta x)$  инвариантны по отношению к параметру  $\Delta x$  (рис. 3 а-в), изменяется только их расположение в соответствии с текущей координатой, что соответствует физическому смыслу процесса намагничивания. В то же время, функция напряжённости полей рассеяния дефекта  $H_{dx}(x, \Delta x)$  и, соответственно, функция напряжённости поля в плоскости магнитной ленты  $H_{tx}(x, \Delta x)$  являются позиционно зависимыми от положения генератора ЛПВ.

Так, при продольном смещении УЛПВ относительно дефекта на величину  $\Delta x = 0,5$ мм (рис. 3б), соответствующую половинному зазору генератора ЛПВ ( $b_m = 0,5$ мм), происходит рост амплитуды максимума функции  $H_{tx}(x, \Delta x)$  по отношению к симметричному ( $\Delta x = 0$ мм) расположению (рис. 3а). Данный эффект объясняется суммированием «эффекта острия» генератора ЛПВ с полем рассеяния дефекта, амплитуда которого, не смотря на некоторое снижение (за счёт уменьшения потока возбуждения), в сумме с потоком подмагничивания, даёт увеличение максимума функции  $H_{tx}$ .

Дальнейшее перемещение генератора ЛПВ относительно дефекта на величину  $\Delta x = 2$ мм (рис. 3в), приводит к снижению амплитуды максимума функции  $H_{tx}(x, \Delta x)$  по отношению к симметричному ( $\Delta x = 0$ ) расположению (рис. 3а), поскольку в области дефекта снижаются, как поток возбуждения, так и поток подмагничивания.

Рассмотренный аспект поведения модели показывает, что магнитографирование дефекта является результатом нескольких циклов перемагничивания магнитного носителя и запись окончательно формируется с запаздыванием - при некотором удалении от зазора генератора ЛПВ.

В процессе исследования поведения модели, выполнено также исследование её реакции на изменение параметров поверхностного дефекта (ширина, глубина) и магнитного носителя (отстояние от исследуемой поверхности). В перечисленных случаях поведение модели также не противоречит критериям физичности, однако данные исследования не приводятся в виду тривиальности полученных результатов.

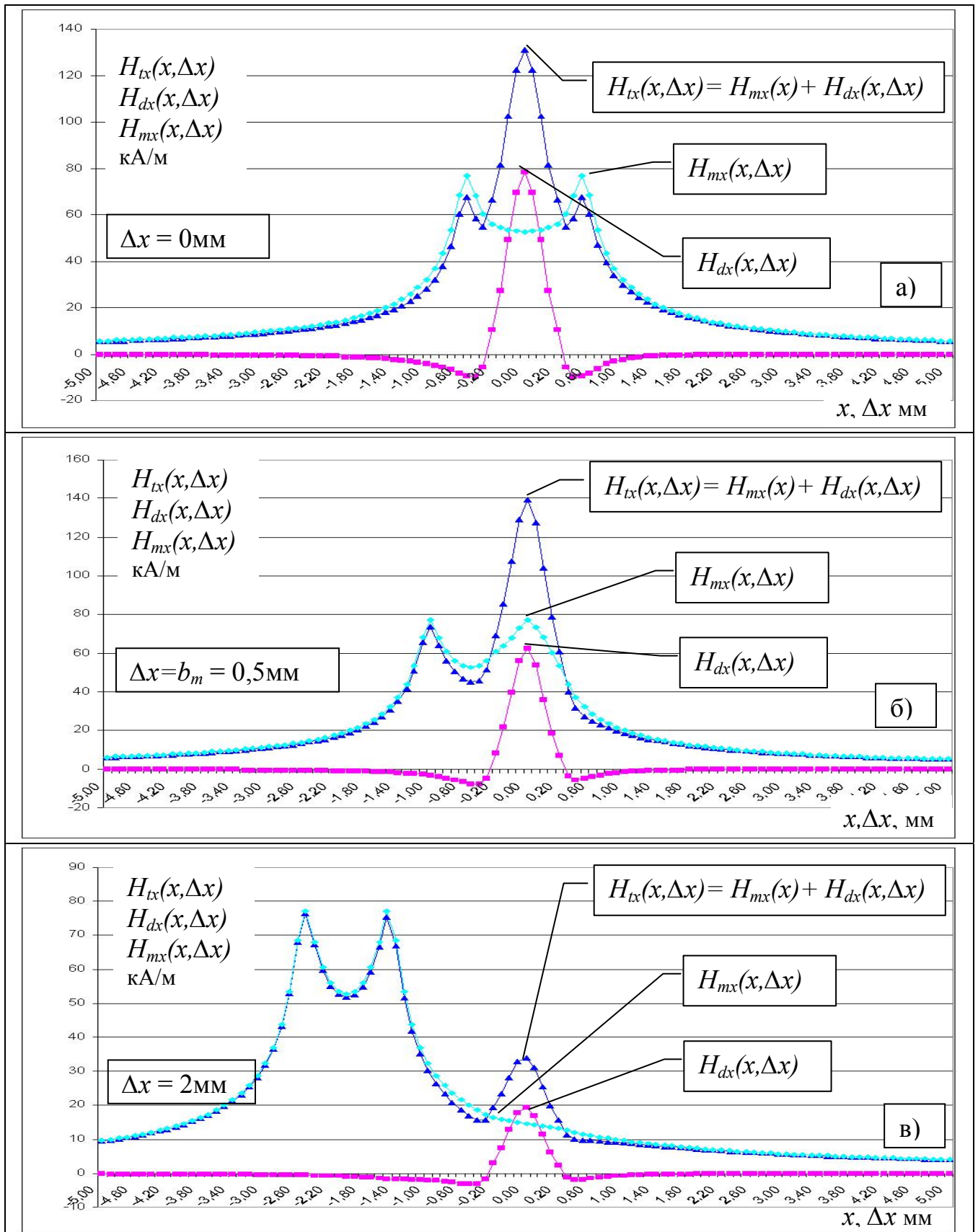


Рис. 3. Влияние положения генератора ЛПВ относительно дефекта  $\Delta x$  на функцию продольной составляющей напряжённости магнитных полей рассеяния  $H_{tx}(x)$  в плоскости магнитного носителя: а)  $\Delta x = 0$  мм; б)  $\Delta x = 0,5$  мм; в)  $\Delta x = 2$  мм.

На основании выполненного исследования поведения модели ЛПВ и результатов его анализа можно сделать вывод об адекватности модели рассматриваемым физическим процессам на качественном уровне.

### **Выводы**

В результате анализа теоретической модели процесса магнитографирования в условиях ЛПВ, подтвержден ряд предположений, выдвинутых в [1] на основании трактовки принципов намагничивания ЛПВ, а также установлен ряд физических закономерностей процесса магнитографирования в условиях ЛПВ:

1. Принцип намагничивания ЛПВ обладает пространственной избирательностью по глубине, т.е. позволяет селективное возбуждение магнитных полей рассеяния исследуемых приповерхностных слоёв, что позволяет ожидать повышения соотношения сигнал/шум, а, следовательно, и улучшения достоверности контроля (повышения вероятности выявления сигнала на фоне шума) относительно принципа объёмного полюсного возбуждения (ОПВ).

2. Принцип намагничивания ЛПВ может обеспечивать повышение чувствительности магнитографирования за счет использования части магнитного потока возбуждения для подмагничивания магнитного носителя (вывода рабочей точки на линейный участок кривой начального намагничивания), как это делается в процессе магнитной записи с подмагничиванием [3].

3. Обнаруженные качественные зависимости, отражающие влияние параметров генератора ЛПВ (ширина зазора  $b_m$ ; дистанция до поверхности образца  $\delta$ ) на функцию остаточной намагниченности магнитограммы, могут быть использованы при проектировании устройств магнитографирования данного типа, необходимых для создания экспериментальной установки и выполнения экспериментальных исследований принципа ЛПВ, что и является предметом дальнейших исследований.

### **Литература**

- 1.Агалиди Ю.С. Принцип и теоретическая модель локального полюсного возбуждения при магнитографировании // Вісник НТУУ „КПІ”, серія Приладобудування. – 2007. - №33. – С. 135-142.
- 2.Патент на винахід №42880 Україна від 15. 11. 2001р., Бюл. №10, 7G 01N 27/82, 27/83: Спосіб магнітооптичного контролю виробу. Заявники патенту: Левий С.В., Агаліді Ю.С. По заявці № 99074257, від 22.07.1999. Приоритет від 05.10.2001. Автори винаходу: Левий С.В., Агаліді Ю.С.
- 3.Лауфер М.В., Крыжановский И.А. Теоретические основы магнитной записи сигналов на движущийся носитель. -К: Вища школа, 1982. -270 с.

**Агаліді Ю.С. Дослідження теоретичної моделі локального полюсного збудження при магнітографуванні.**

Досліджено вплив параметрів генератора локального намагнічування на збудження магнітних полів розсіяння поверхневого дефекту за результатами аналізу теоретичної моделі.

**Agalidi Yu. Investigation of theoretical model of local polar stimulation for magnetographical.**

As result of theoretical model analysis, was investigation of influence parameters of local polar stimulation to examples magnetic fields dispersion.

*Надійшла до редакції  
25 травня 2007 року*