

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# ВІСНИК

Східноукраїнського  
Державного Університету

№ 1 (11) 1998

ВИДАВНИЦТВО СУДУ

Луганськ 1998

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТОКОВИХРЕВОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ ДЕФЕКТА ПРИ КОНТРОЛЕ НАКЛАДНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

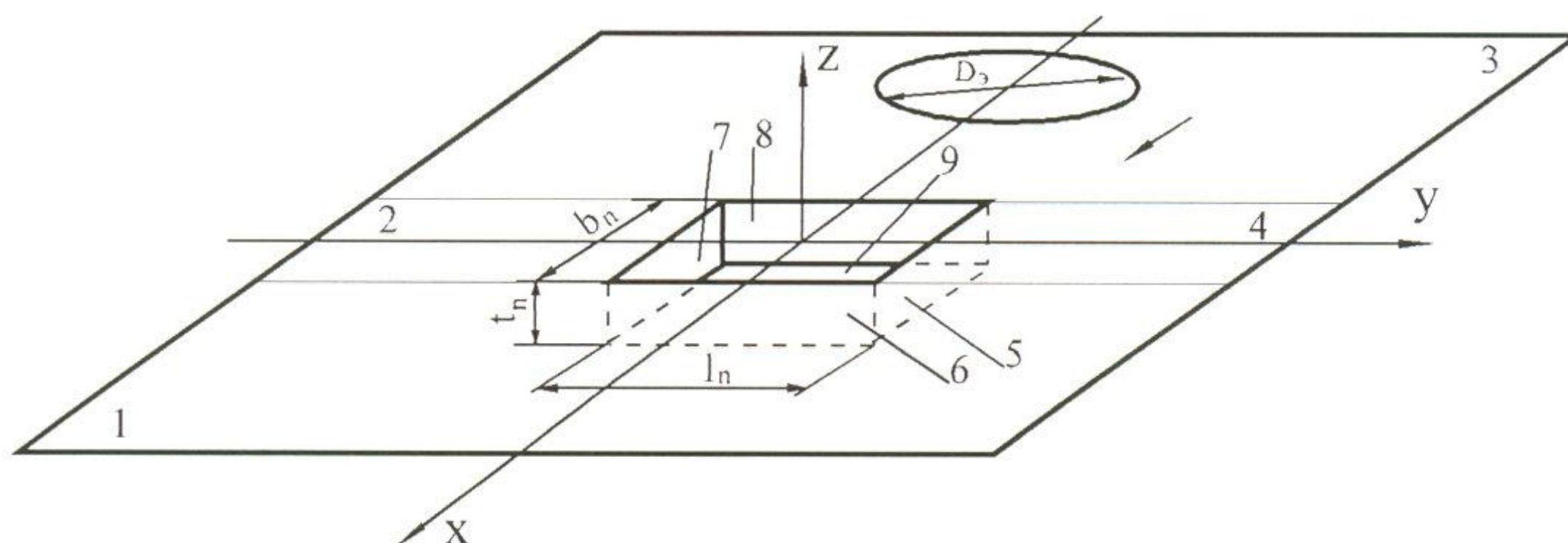
*В.Я. Гальченко, А.В. Велигура*

Статья содержит примеры применения в практике математического моделирования процессов токовихревого контроля объектов разработанной библиотеки моделей источников зондирующего поля. Проведен анализ полученных результатов, получены оценки достоверности предлагаемых информационных моделей.

Постановка задачи, а также предлагаемые подходы ее решения сформулированы в предыдущей части настоящей статьи. Несомненно наибольший интерес вызывают не сами модели источников зондирующего поля (ИЗП), а их использование на этапе моделирования процессов токовихревого контроля объектов. Следует также отметить универсальность разработанной библиотеки моделей ИЗП, которая без ограничений может применяться при моделировании функционирования проходных, накладных и экранных вихретоковых преобразователей (ВТП).

Информационные модели ИЗП, входящие в библиотеку программного комплекса компьютерного моделирования процессов контроля объектов, разработаны с использованием языка Microsoft FORTRAN PowerStation V 4.0. Проиллюстрируем моделирование процесса контроля плоского объекта с поверхностным дефектом в виде прямоугольной прорези  $0,5 \times 10 \times 1,0$  мм накладным ВТП (см. рис. 1), используя в качестве источников модели ИЗП1, ИЗП2 и ИЗП3 согласно введенным в части 1 обозначениям.

Контролируемая пластина размерами  $80 \times 80$  мм и бесконечной толщины характеризуется следующими электрофизическими параметрами:  $\mu_r = 2$ ;  $\gamma = 2,5 \cdot 10^6$  См/м. Распределение ИЭМП в зоне дефекта изучалось при частоте  $f = 10$  кГц. Для модели ИЗП3 использовались следующие выходные данные: внутренний радиус  $R_B = 8 \cdot 10^{-3}$  м; наружный радиус  $R_H = 10 \cdot 10^{-3}$  м; высота намотки  $(b_2 - b_1) = 2 \cdot 10^{-3}$  м; ток в катушке  $\dot{I}_B = 0,15 e^{j\pi/4}$  А; число витков  $w = 100$ . Конечной целью моделирования являлось изучение распределения ИЭМП в контрольных точках, расположенных в воздухе над проводящим объектом.



$l_n$  - длина дефекта  
 $b_n$  - раскрытие дефекта  
 $t_n$  - глубина дефекта

Рисунок 1. – Расчетная модель объекта контроля с дефектом.

Исследование распределения ИЭМП производилось над дефектным и бездефектным изделиями, причем ИЗП размещался строго в центре пластины на высоте  $h = 4 \cdot 10^{-3}$  м и в дальнейшем не перемещался. Здесь же располагалась глобальная система координат, ось Oz которой направлена перпендикулярно к пластине. Первоначально пластина аппроксимировалась 25 (дефектное изделие) и 20 (бездефектное) поверхностными макроэлементами, которые затем в процессе моделирования автоматически дробились дополнительно препроцессором информационной модели. Фиксировался модуль составляющих ИЭМП в контрольных точках с координатами  $(-20 \cdot 10^{-3}; 0; 2 \cdot 10^{-3})$  и  $(20 \cdot 10^{-3}; 0; 2 \cdot 10^{-3})$ , а также в лежащих между ними 60-ти равномерно расположенных точках. Для источника ИЗП2 по сравнению с ИЗП3 использовался эквивалентный радиус витка, рассчитанный в соответствии с рекомендациями [3]. Для источника ИЗП1 в целях сравнения полученных результатов значения компонент ИЭМП определялись после расчетов, проведенных для ИЗП2 и ИЗП3. При моделировании использовалась информационная модель для односвязной области [1], представленная в предыдущей части статьи. Результаты расчетов приведены на рис. 2 и рис. 3, которые иллюстрируют распределение модулей составляющих

$\dot{N}_z$  и  $\dot{N}_x$  ИЭМП в зоне дефекта.

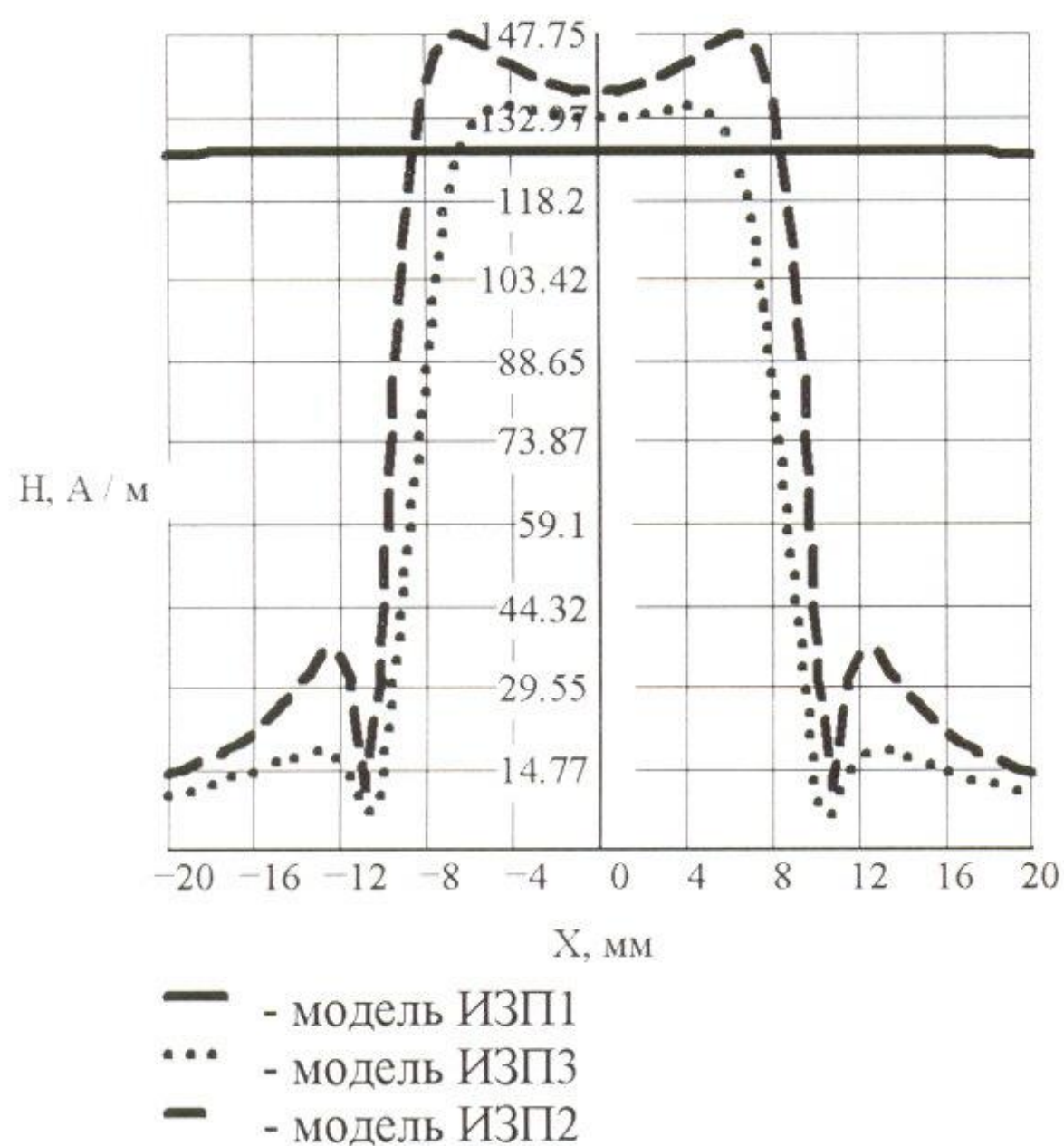
С целью визуальной оценки влияния наличия дефекта в изделии на распределение поля в зоне контроля графики представлены для дефектного и бездефектного объектов. Кроме того, для качественной оценки результатов моделирования контрольные точки, в которых фиксировались значения напряженности ИЭМП, размещались на различной высоте  $h$  над плоскостью xOy, что позволяет интерпретировать полученные результаты с точки зрения физических процессов, протекающих в объекте при контроле. Характер поведения анализируемых зависимостей, полученных в результате моделирования процессов контроля бездефектных объектов, совпадает с результатами полученными в работе [2]. Так модуль

нормальной компоненты  $\dot{N}_z$  ИЭМП имеет вогнутость на оси катушки при исследовании его распределения вдоль оси Ox, что характерно при высоте катушки в несколько раз меньшей ее радиуса, как в сформулированной модельной задаче. Существенно видны различия распределений ИЭМП, полученных для различных моделей ИЗП. При удалении контрольных точек от поверхности объекта при неизменной высоте размещения ИЗП значения

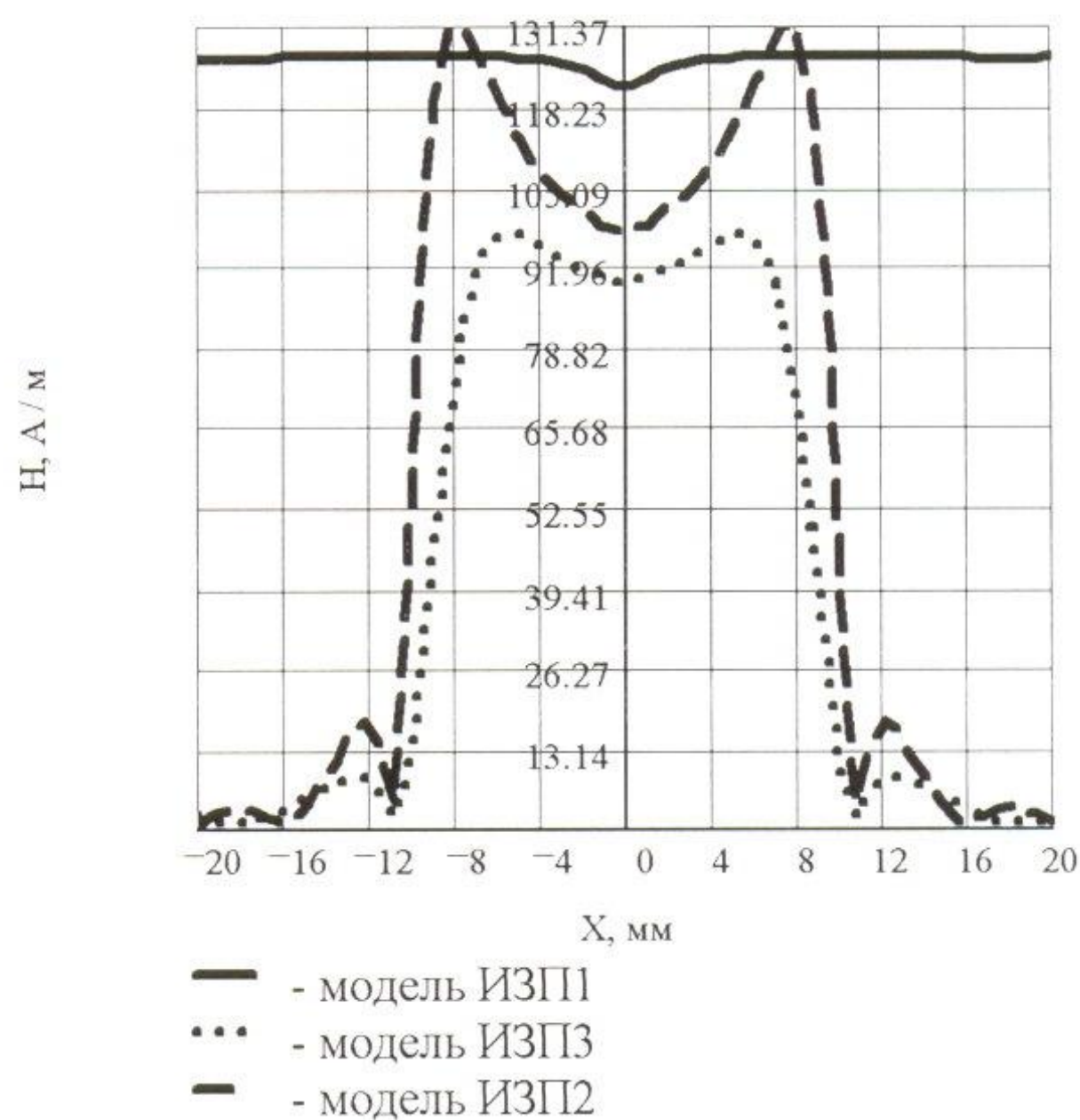
составляющей  $\dot{N}_z$  увеличиваются неравномерно по всей ширине катушки, что объясняется неравномерным распределением плотности вихревых токов, наведенных в объекте, с одной стороны и все более возрастающим влиянием катушки вследствие ее близости с другой стороны. На аналогичных зависимостях, снятых для дефектного объекта, отчетливо просматривается тенденция снижения общего уровня напряженности, что на наш взгляд объясняется большей концентрацией вихревых токов в области дефекта в сравнении с бездефектным случаем.

Для тангенциальной составляющей  $\dot{N}_x$  ИЭМП ( $\dot{N}_y=0$ ) в отличие от нормальной составляющей максимум приходится на область непосредственно под витками ИЗП (см. рис. 3 б, г), что хорошо согласуется с результатами [2]. При приближении контрольных точек к объекту контроля силовые линии ИЗП приобретают более округлый характер, что проявляется в росте тангенциальной составляющей. Для тангенциальной составляющей ИЭМП различия в распределении для моделей ИЗП2 и ИЗП3 практически отсутствуют. Для дефектного изделия по тангенциальной составляющей также удастся селективировать дефект, но в этом случае гораздо более информативным следует признать использование модели ИЗП1, что в случае накладного ВТП практически невыполнимо. Следует отметить тот факт, что селекцию несплошности по компоненте  $\dot{N}_x$  следует проводить при размещении измерительного зонда

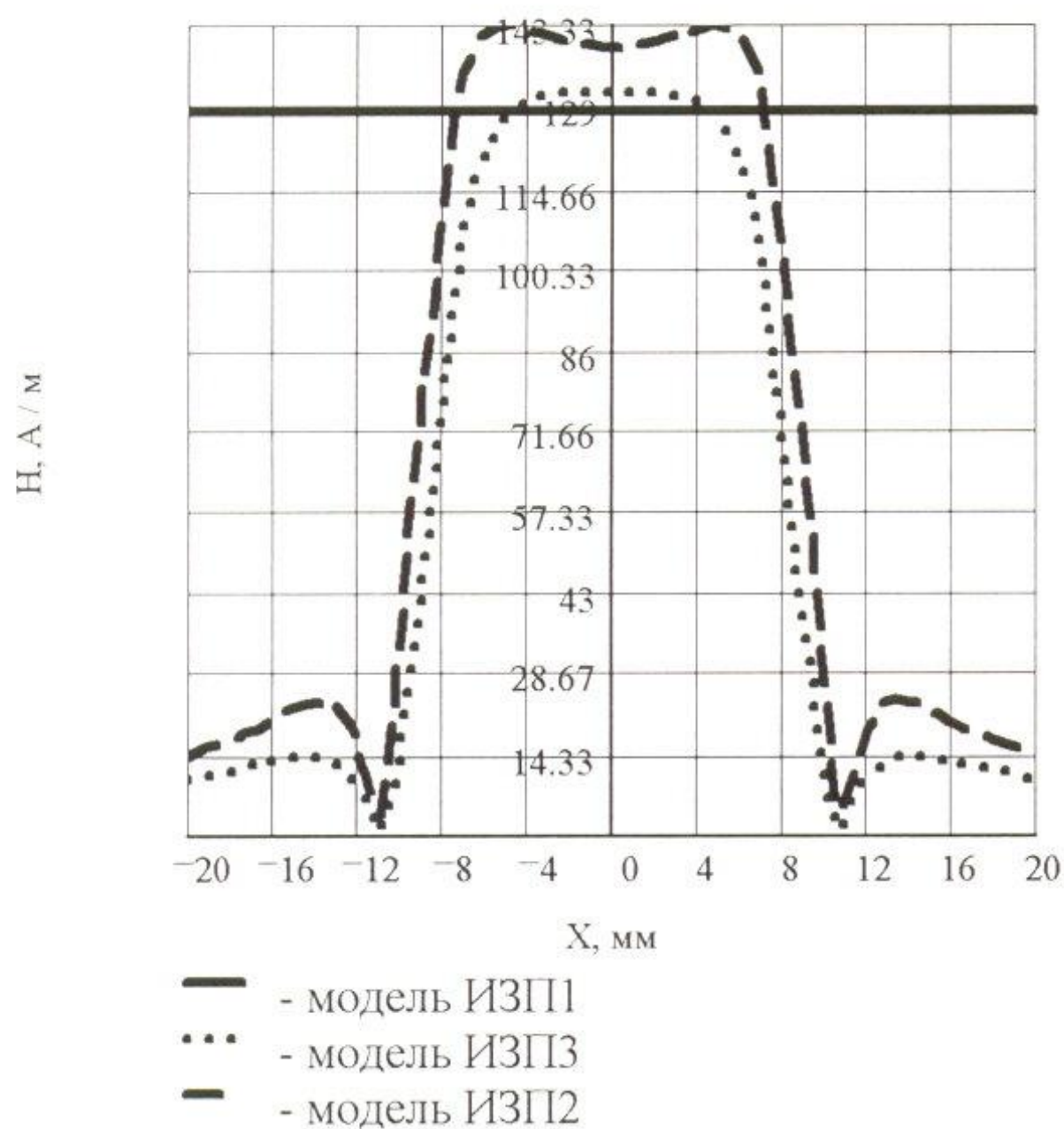
ВТП на высоте не более 1 мм над поверхностью объекта, что невыполнимо при использовании измерительной катушки, но вполне возможно при применении гальваномангнитных элементов.



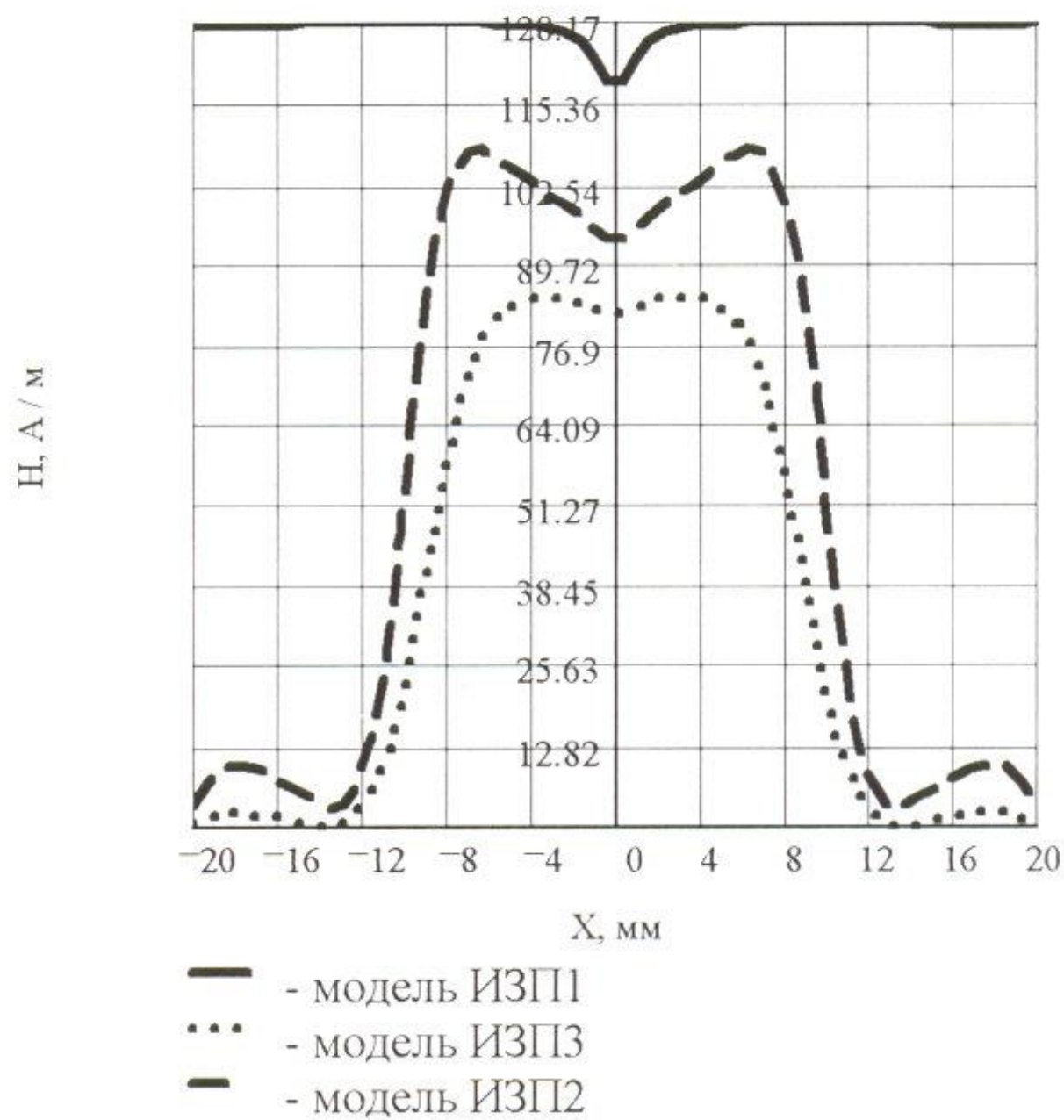
а) компонента  $H_z$  ИЭМП над бездефектным объектом ( $h=2$  мм)



б) компонента  $H_z$  ИЭМП над дефектным объектом ( $h=2$  мм)



в) компонента  $H_z$  ИЭМП над бездефектным объектом ( $h=1$  мм)



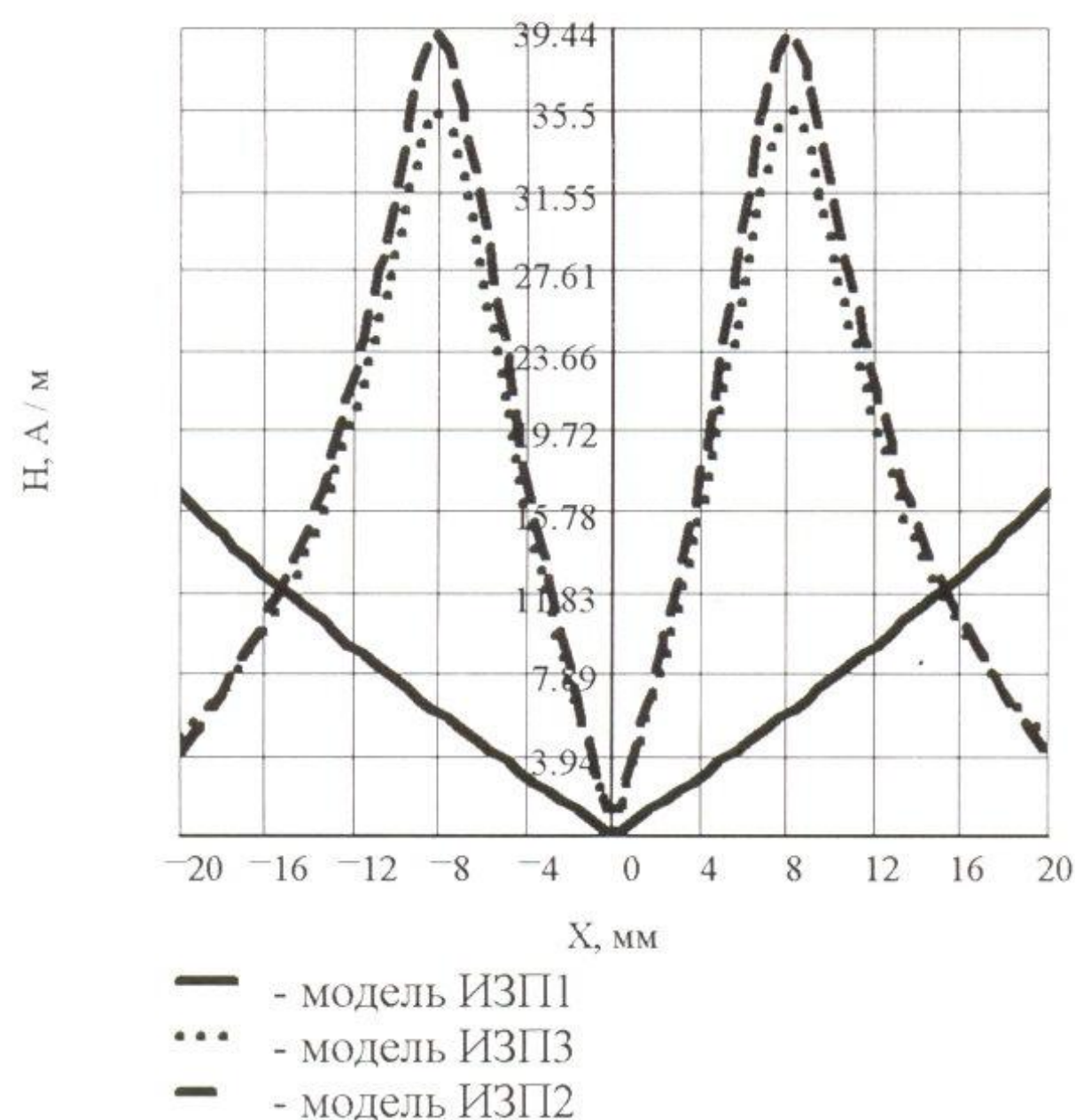
г) компонента  $H_z$  ИЭМП над дефектным объектом ( $h=1$  мм)

Рисунок 2. – Распределение модуля нормальной составляющей поля рассеяния дефекта.

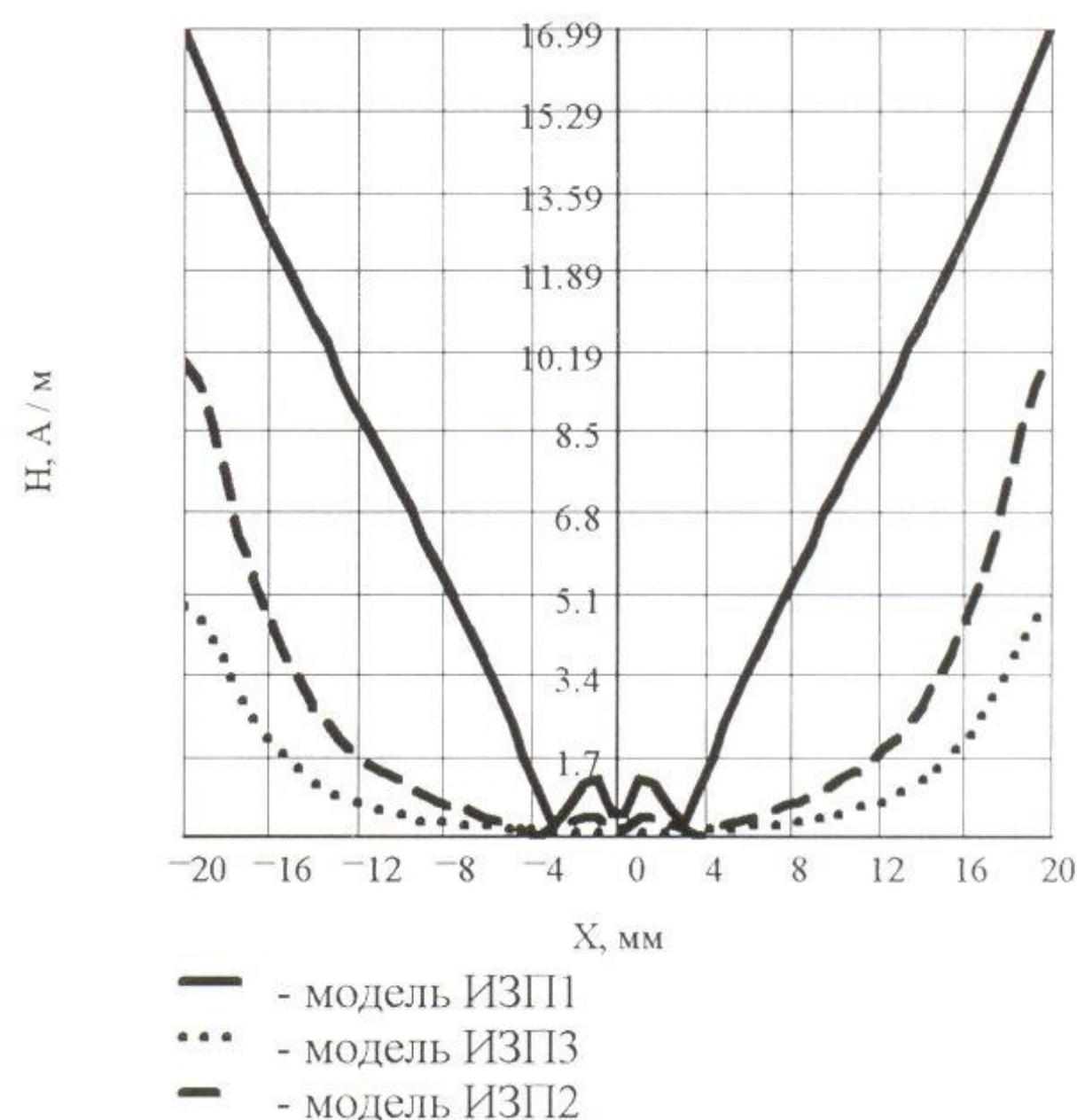
При размещении контрольных точек на высоте  $h=3$  мм над поверхностью объекта контроля селекция дефекта по тангенциальной составляющей ИЭМП практически невозможна, в то время как компонента  $H_z$  еще несет информацию о дефекте (см. рис. 4). В этом можно

убедиться путем сравнения распределений ИЭМП для дефектного изделия (см. рис. 4 б) и бездефектного изделия в точках расположенных на высоте  $h=3$  мм над поверхностью объекта.

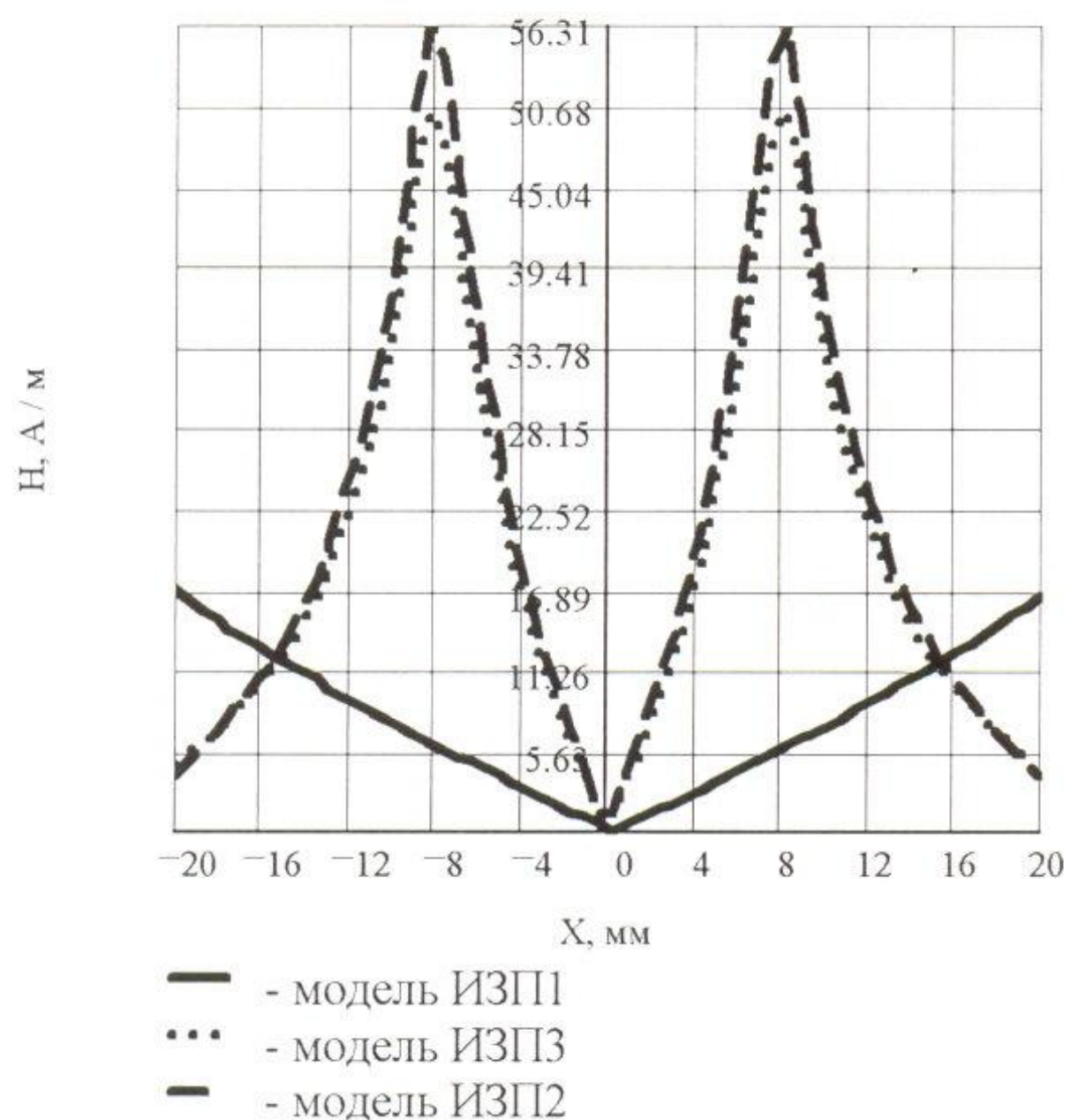
График распределения компоненты  $\dot{H}_z$  ИЭМП над бездефектным изделием приведен на рисунке 5.



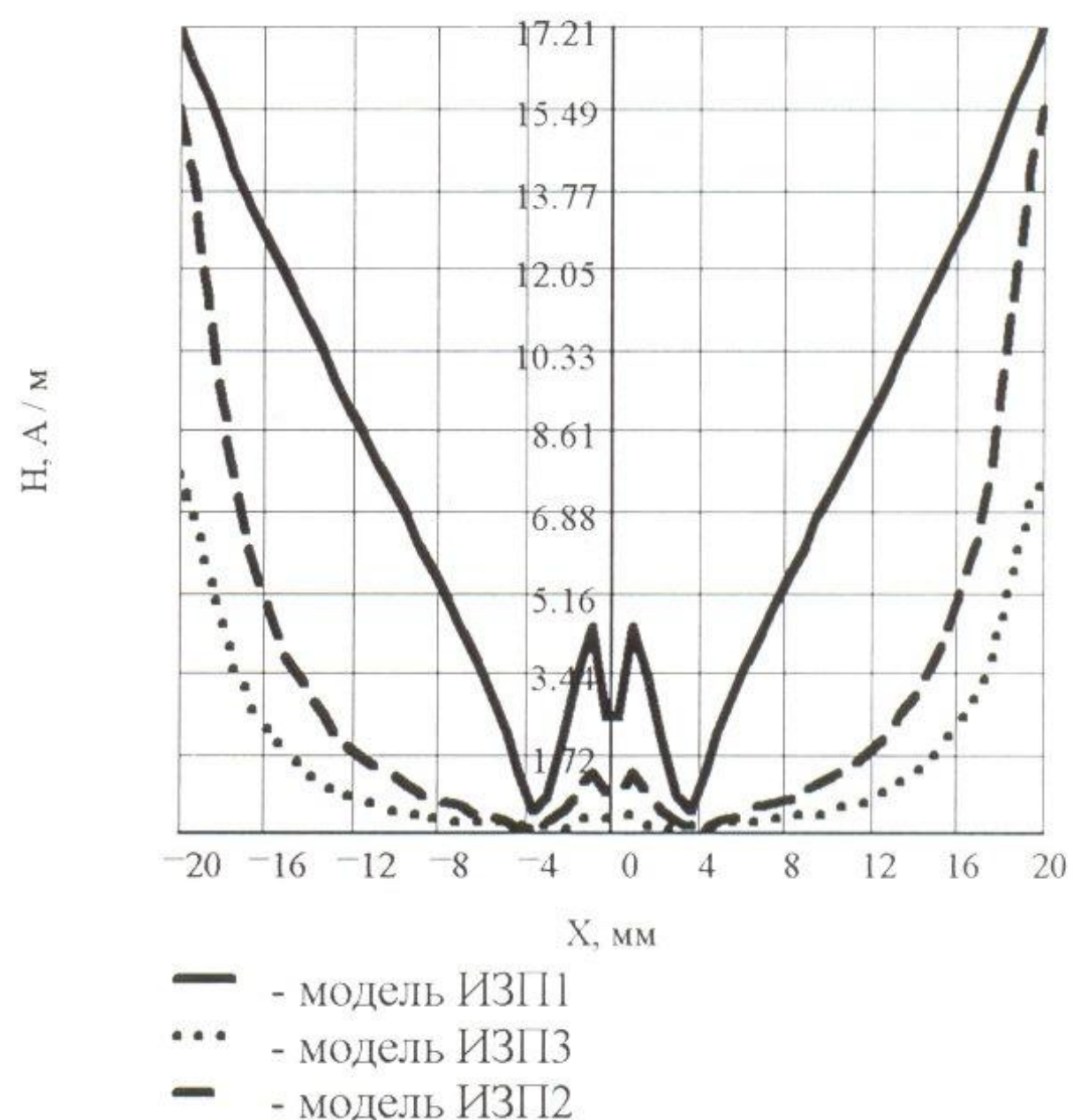
а) компонента  $H_x$  ИЭМП над бездефектным объектом ( $h=2$  мм)



б) компонента  $H_x$  ИЭМП над дефектным объектом ( $h=2$  мм)



в) компонента  $H_x$  ИЭМП над бездефектным объектом ( $h=1$  мм)



г) компонента  $H_x$  ИЭМП над дефектным объектом ( $h=1$  мм)

Рисунок 3. – Распределение модуля тангенциальной составляющей поля рассеяния дефекта.

Применение моделей ИЗП на этапе компьютерного моделирования процессов токовихревого контроля объектов позволяет влиять на условия выявления дефектов, учитывая изменение характеристик зондирующего ИЭМП, вызванное высотой и толщиной намотки катушки, а также характером излучения ИЭМП реального источника.

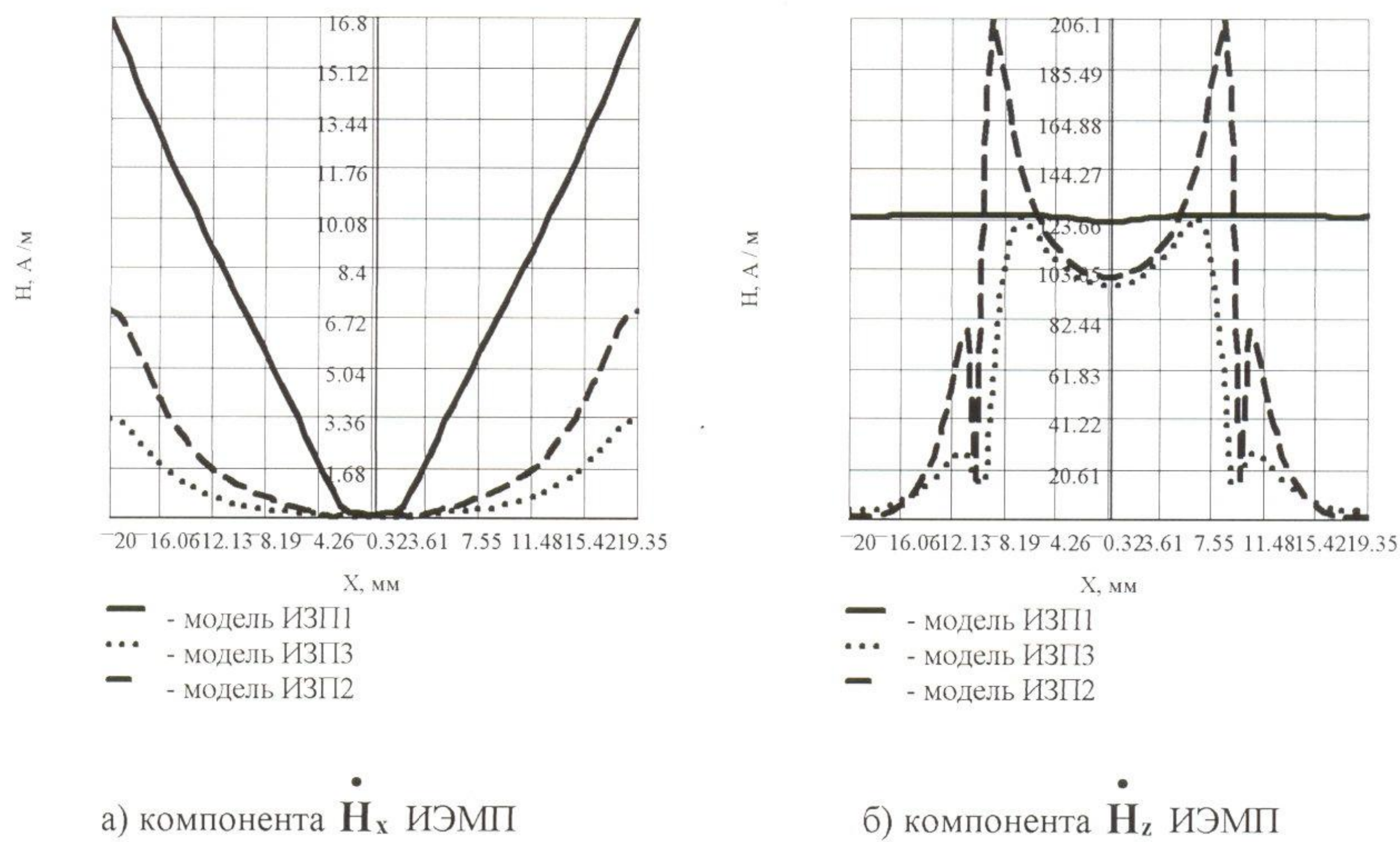


Рисунок 4. – Распределение ИЭМП при контроле накладным ВТП на высоте  $h=3$  мм над поверхностью объекта контроля.

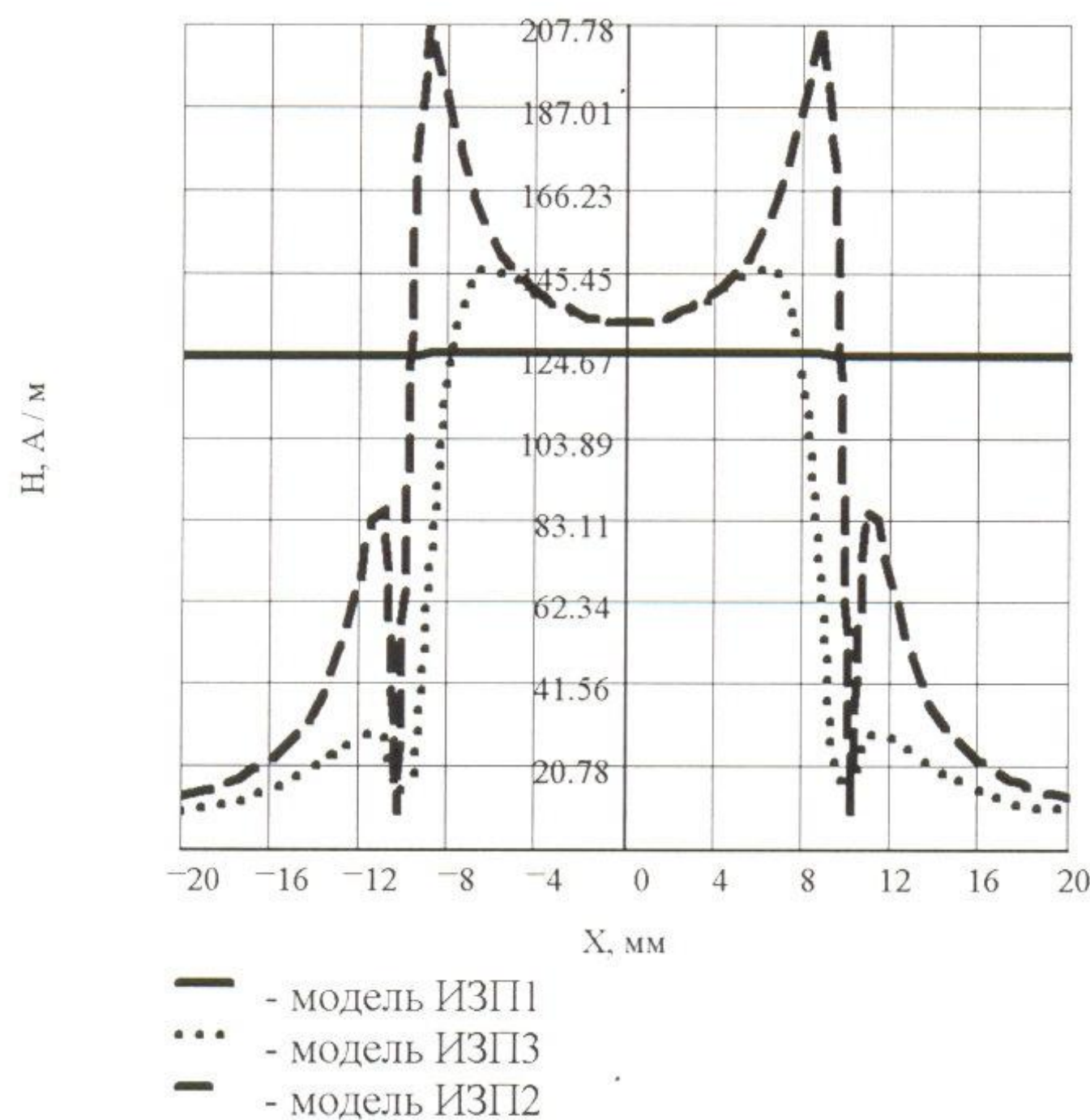


Рисунок 5. – Распределение нормальной компоненты ИЭМП над бездефектным изделием ( $h=3$  мм).

Применение упрощенной модели ИЗП, генерирующего однородное поле, приводит к некоторому искажению результатов исследований при проведении контроля накладными ВТП, хотя основные закономерности выполняются даже в этом идеализированном случае. Проведение проектных расчетов в соответствии с предложенной в [1] методологией позволяет определить оптимальные параметры и режимы работы ВТП дефектоскопов.

#### Литература:

1. Гальченко В.Я. Информационные модели в теории и практике электромагнитной дефектоскопии. - Луганск: Изд-во ВУГУ, 1997. - 262 с.
2. Дякин В.В., Сандовский В.А. Теория и расчет накладных вихретоковых преобразователей. - М.: Наука, 1981. - 136 с.
3. Алиевский Б.Л., Орлов В.Л. Расчет параметров магнитных полей осесимметричных катушек. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 112 с.

УДК 538.244.2.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ЖЕЛЕЗООТДЕЛИТЕЛЯХ**

*А.П. Нестеренко*

Рассмотрен метод физического моделирования в сочетании с методом корректирующих функций. На основе этих методов показан способ построения математической модели группы электромагнитов. Математическая модель связывает основные геометрические и электромагнитные параметры электромагнитной системы, которые необходимы для оптимального проектирования. Рекомендуются для создания математических моделей конкретных инженерных разработок.

Современные технологии переработки сыпучих материалов выполняются в процессе их транспортирования. В различных отраслях промышленности (металлургической, резинотехнической, угольной, сельскохозяйственной) используются электромагнитные железоотделители, которые позволяют в процессе транспортирования сыпучего немагнитного материала удалять из него ферромагнитные предметы.

Электромагнитные железоотделители выпускаемые серийно промышленностью (подвесные, шкивные, барабанные) имеют значительный вес от одной до 10 тонн. В них третью часть веса составляет медная обмотка.

В основе принципа действия железоотделителей лежат открытые электромагнитные системы [1]: П-образная группа, Ш-образная группа, многополосная группа.

Относительно большие объемы рабочей зоны электромагнитных систем дали им название – открытые электромагнитные системы. Наличие открытого магнитопровода не позволяет применять при расчетах магнитных полей традиционные допущения сводящие расчёты трёхмерных магнитных полей к двумерным из-за больших погрешностей. Большой вес активных материалов железоотделителей (медь, сталь) ставит задачу оптимального проектирования по противоречивым критериям: минимальный вес активных материалов при наилучших тяговых характеристиках. Наличие открытого магнитопровода значительно усложняет математическую модель магнитной системы из-за неприменимости при расчётах традиционных допущений сводящих расчёты трёхмерных полей к двумерным. В следствии этого, проектные работы становятся дорогостоящими, а при небольших сериях выпуска изделия, стоимость проекта превышает стоимость самой серии. Проблема создания новых типов и типоразмеров