

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

DOI: 10.53078/20778481\_2021\_3\_125

УДК 620.179.14

*Я. И. Миренкова, В. А. Новиков, А. В. Кушнер*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВЫЯВЛЯЕМОСТЬ НЕСПЛОШНОСТЕЙ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТАХ МАГНИТОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*Y. I. Mirenkova, V. A. Novikov, A. V. Kushner*

### MAGNETOGRAPHIC STUDY OF THE EFFECT OF PROTECTIVE COATINGS ON DISCONTINUITY DETECTION IN FERROMAGNETIC OBJECTS

#### **Аннотация**

Представлены результаты экспериментальных исследований по магнитографической дефектоскопии ферромагнитных объектов с неферромагнитными покрытиями преимущественно на наличие протяженных плоских дефектов вида непровар. Эксперименты выполнены на образцах, имитирующих покрытие, с несплошностями в виде профрезерованных канавок, расположенных на наружной и внутренней поверхности образца.

#### **Ключевые слова:**

дефектоскопия, магнитографический метод, ферромагнитные объекты, неферромагнитные покрытия.

#### **Для цитирования:**

Миренкова, Я. И. Исследование влияния защитных покрытий на выявляемость несплошностей в ферромагнитных объектах магнитографическим методом / Я. И. Миренкова, В. А. Новиков, А. В. Кушнер // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2021. – № 3(72). – С. 125–133.

#### **Abstract**

The paper describes the results of experimental studies on the magnetographic flaw detection of ferromagnetic objects with non-ferromagnetic coatings, predominantly for the presence of extensive flat defects which are defects of lack-of-penetration type. The experiments have been carried out on specimens simulating a coating with discontinuities in the form of milled grooves located on the outer and inner surfaces of the specimen.

#### **Keywords:**

flaw detection, magnetographic method, ferromagnetic objects, non-ferromagnetic coatings.

#### **For citation:**

Mirenkova, Y. I. Magneto-graphic study of the effect of protective coatings on discontinuity detection in ferromagnetic objects / Y. I. Mirenkova, V. A. Novikov, A. V. Kushner // The Belarusian-Russian university herald. – 2021. – № 3(72). – P. 125–133.

#### **Введение**

Для увеличения срока эксплуатации деталей и металлоконструкций на

их поверхность наносят различные защитные покрытия. Например, с помощью сварки взрывом выполняют плакирующие покрытия из дорогостоящей

нержавеющей стали на ферромагнитные листы из стали Ст 3, которые используют для изготовления резервуаров. Применяют также биметаллические стержни, работающие в агрессивных средах, стальные трубы с полимерным покрытием для изготовления трубопроводов. Широко распространены сооружения и детали, на которые нанесен слой краски. Названные объекты подвергают неразрушающему контролю в процессе ремонта или планового останова. При этом повреждение или удаление защитного покрытия часто нежелательно. Иногда требуется оперативный контроль объектов, например, дефектоскопия букс вагонных колес, которые нужно оперативно проконтролировать при кратковременной остановке поезда.

### **Основная часть**

Наиболее приемлемым для дефектоскопии рассматриваемых объектов является магнитный вид контроля, в частности, магнитографический метод, который позволяет при одностороннем подходе контролировать объекты с толщиной стенки от 2 до 25 мм [1]. Метод характеризуется высокими производительностью, экономичностью, чувствительностью в отношении наиболее опасных дефектов – трещин и стянутых непроваров (особенно поверхностных и подповерхностных), низкими требованиями к шероховатости контролируемой поверхности, позволяет контролировать объекты большей толщины по сравнению с другими магнитными методами дефектоскопии [2–5], если намагничивание объекта и ленты не производят перемещаемым постоянным магнитом через ленту, уложенную на поверхность объекта [6, 7]. В последнем случае обнаруживаются только поверхностные и подповерхностные дефекты, т. к. до требуемой индукции намагничивается только поверхностный слой объекта. Кроме того, вследствие гистерезисных явлений в магнитной ленте уже при глу-

бине залегания дефекта более 2 мм происходит трансформация сигнала, обусловленного дефектом, причем характерный сигнал на экране дефектоскопа может даже сменить полярность полу-волн, т. е. результаты контроля будут неоднозначными [7]. По этой причине намагничивание объекта целесообразно производить электромагнитом с П-образным сердечником, у которого толщина полюсов электромагнита в 2–3 раза больше толщины стенки объекта контроля [8].

Образцы и оборудование для исследований.

Образцы для исследований изготавливали из стали Ст 3, они имели толщину 8 мм. На их поверхностях были выполнены канавки шириной 1,2 мм, глубиной 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 и 3,0 мм, длиной 80 мм. Наличие неферромагнитного покрытия имитировали пакетами пластмассовых прокладок толщиной 180 мкм. Намагничивание образцов производили с помощью электромагнита с П-образным сердечником (сечение полюса 125 × 25 мм, межполюсное расстояние – 130 мм, число витков обмоточного провода диаметром 1,42 мм – 450). При контроле пакеты прокладок одинаковой толщины укладывали на поверхность образца, а затем на них устанавливали электромагнит. В межполюсном пространстве электромагнита над канавкой, имитировавшей дефект, на поверхность прокладок укладывали магнитную ленту типа И4701-35, имеющую коэрцитивную силу 80 А/см. Таким образом исследовали возможность обнаружения дефектов наружной и внутренней поверхности по отношению к магнитной ленте в объекте с покрытием. Напряженность поля, создаваемого электромагнитом в отсутствие объекта, измеряли прибором ИОН-3.

Запись с магнитной ленты считывали на дефектоскопе МДУ-2У.

Результаты исследований представлены на рис. 1–9.

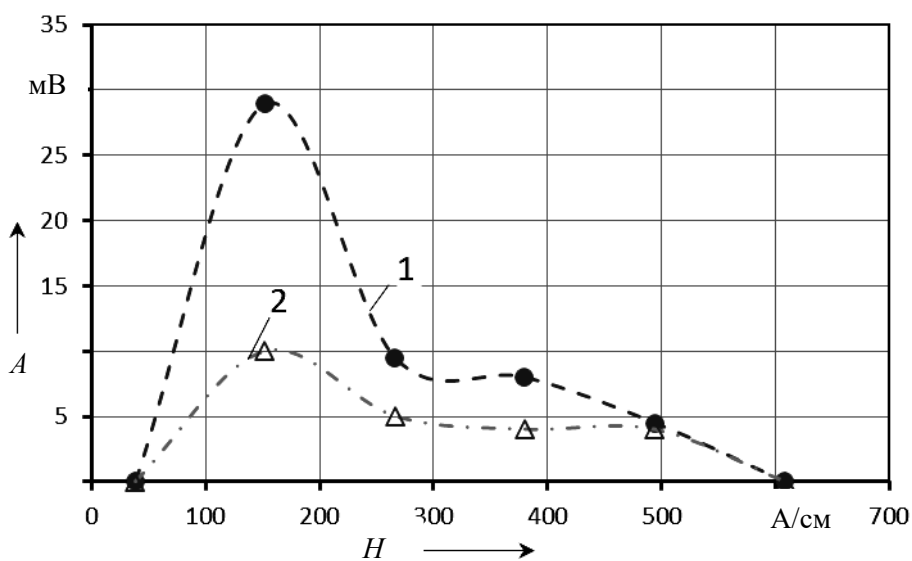


Рис. 1. Зависимость размаха сигнала, обусловленного дефектом  $h_d = 0,5$  мм наружной поверхности образца, от напряженности поля для разных толщин покрытий: 1 –  $\Delta = 0,9$  мм; 2 –  $\Delta = 1,98$  мм

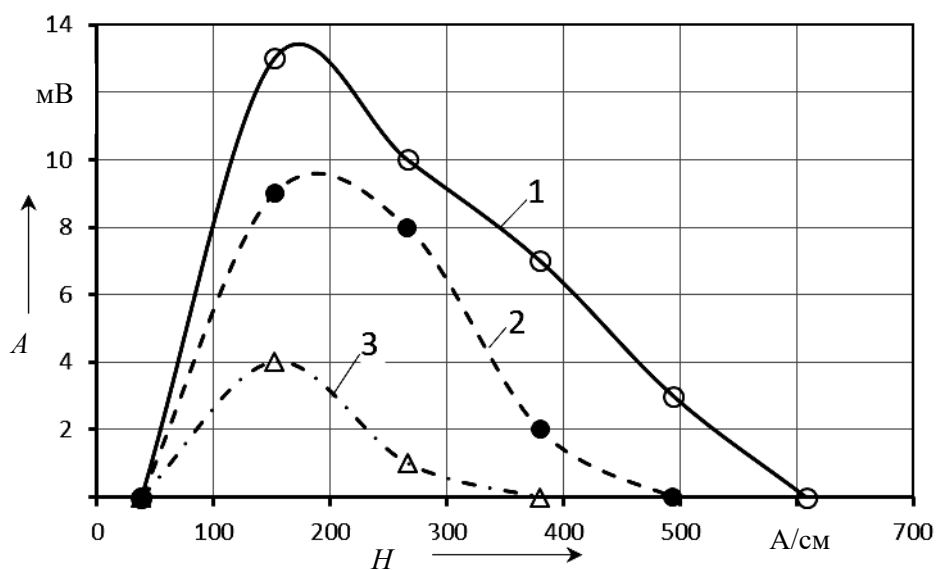


Рис. 2. Зависимость размаха сигнала, обусловленного дефектом  $h_d = 0,5$  мм внутренней поверхности образца, от напряженности поля для разных толщин покрытий: 1 –  $\Delta = 0$  мм; 2 –  $\Delta = 0,9$  мм; 3 –  $\Delta = 1,98$  мм

На рис. 1 изображены графики зависимости размаха сигнала, обусловленного дефектом  $h_d = 0,5$  мм наружной поверхности образца по отношению к магнитной ленте, от напряженности поля, построенные для разных толщин покрытий: 1 –  $\Delta = 0,9$  мм; 2 –  $\Delta = 1,98$  мм. На рис. 2 – то же для дефектов внутрен-

ней поверхности.

Из графиков видно, что максимум размаха сигнала имеет место при напряженности внешнего поля 140...150 А/см, для дефектов как наружной, так и внутренней поверхности образца с покрытием. Размах сигнала, обусловленного дефектом внутренней поверхности, мень-

ше вследствие наибольшей удаленности дефекта от ленты. С увеличением толщины покрытия происходят уменьшение размаха сигнала и увеличение его длительности. Аналогичные результаты получены и для дефектов другой глуби-

ны. Определена предельная толщина покрытия, при которой обнаруживаются дефекты разной глубины для случая дефекта как наружной, так и внутренней поверхности (см. рис. 3, кривые 1 и 2).

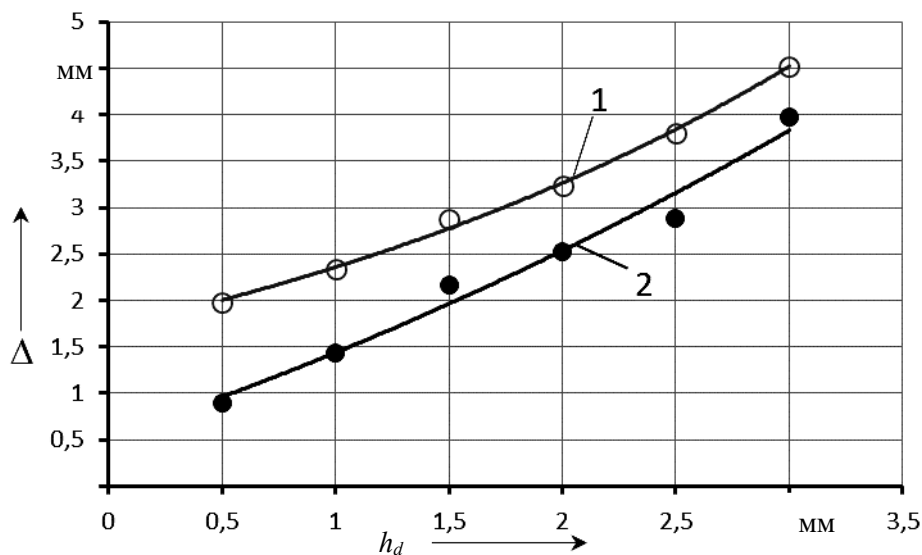


Рис. 3. Зависимость предельной толщины покрытия, при которой обнаруживаются дефекты разной глубины для случая дефекта как наружной (кривая 1), так и внутренней (кривая 2) поверхности

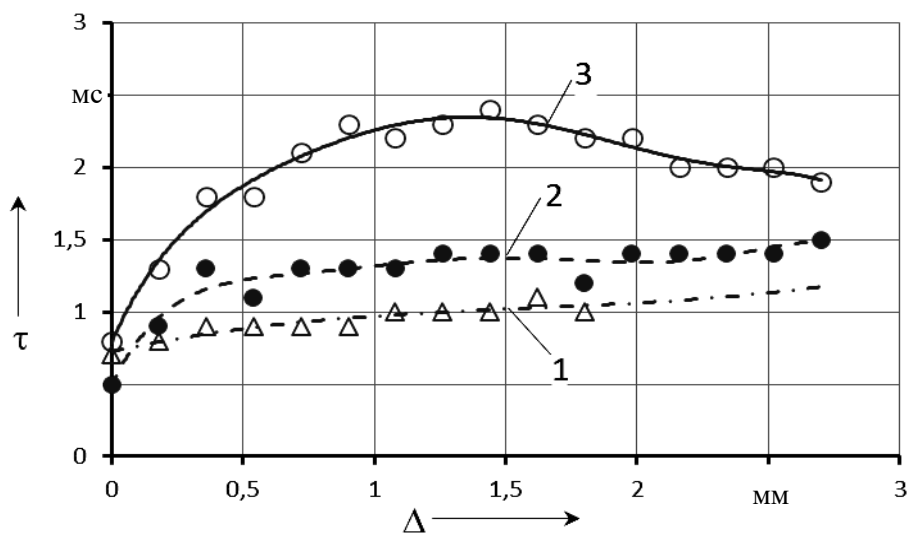


Рис. 4. Зависимость длительности сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности, от толщины покрытия при постоянной напряженности намагничивающего поля: 1 –  $h_d = 0,5$  мм; 2 –  $h_d = 1,5$  мм; 3 –  $h_d = 3,0$  мм

Как видно из рис. 3, дефект наружной поверхности  $h_d = 0,5$  мм начинает обнаруживаться при толщине

покрытия  $\Delta = 2$  мм; 1,0 мм – при 2,3 мм; 1,5 мм – при 2,6 мм; 2,0 мм – при 3,2 мм; 2,5 мм – при 3,8 мм;

3,0 мм – при 4,5 мм, дефект внутренней поверхности  $h_d = 0,5$  мм начинает обнаруживаться при толщине покрытия

$\Delta = 0,9$  мм; 1,0 мм – при 2,3 мм; 1,5 мм – при 2,0 мм; 2,0 мм – при 2,5 мм; 2,5 мм – при 3,1 мм; 3,0 мм – при 4,0 мм.

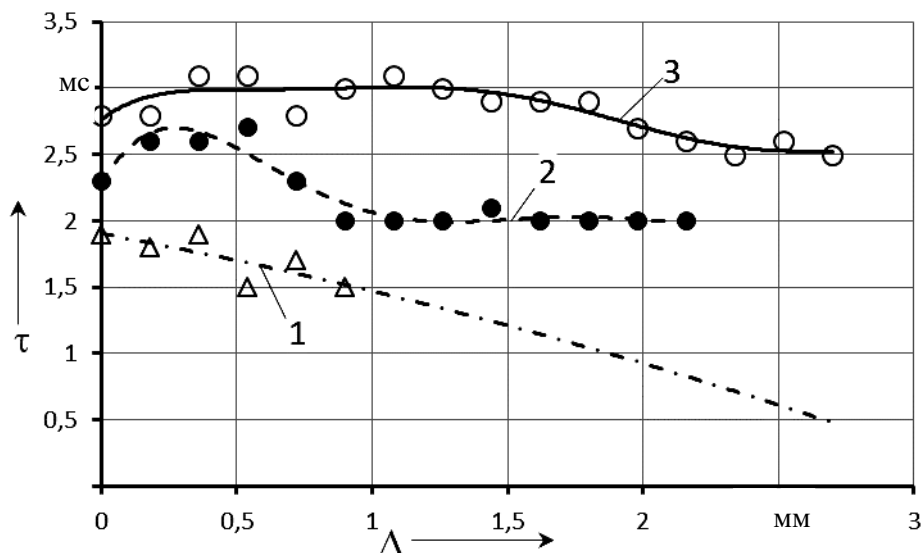


Рис. 5. Зависимость длительности сигнала, обусловленного дефектом внутренней поверхности, от толщины покрытия при постоянной напряженности намагничивающего поля ( $H_0 = 150$  А/см): 1 –  $h_d = 0,5$  мм; 2 –  $h_d = 1,5$  мм; 3 –  $h_d = 3,0$  мм

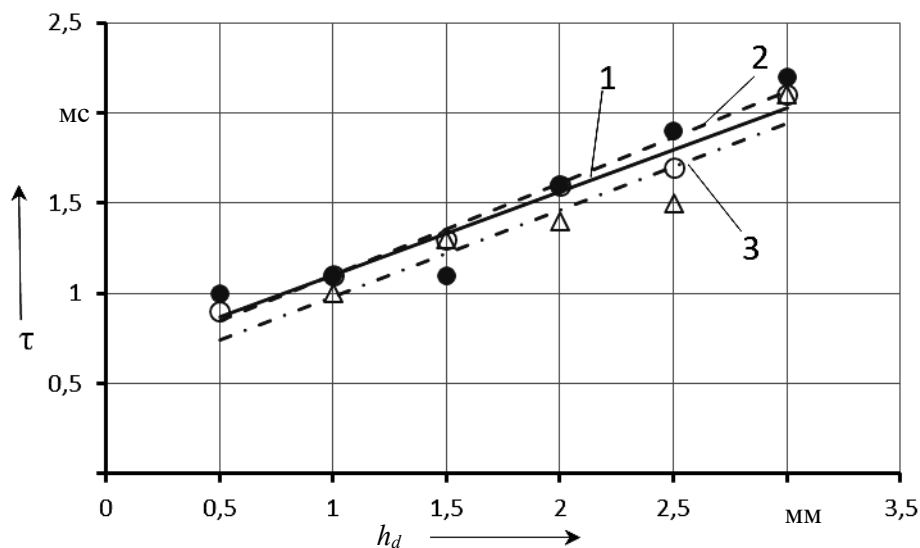


Рис. 6. Зависимость длительности сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности, от глубины дефекта при различных толщинах покрытий ( $H_0 = 150$  А/см): 1 –  $\Delta = 0,9$  мм; 2 –  $\Delta = 1,8$  мм; 3 –  $\Delta = 2,54$  мм

На рис. 4 и 5 представлены зависимости длительности  $\tau$  сигнала, обусловленного дефектом наружной и внутренней поверхности разной глуби-

ны, от толщины покрытия.

Из рисунков видно, что чем больше глубина дефекта, тем больше длительность импульсов. Причем если для

дефекта наружной поверхности глубиной 3 мм кривая вначале возрастает, достигая максимума при  $\Delta = 1,5$  мм, а за-

тем убывает, то для дефектов глубиной 0,5 и 1,5 мм начиная с  $\Delta = 0,5$  мм  $\tau$  изменяется незначительно (см. рис. 4).

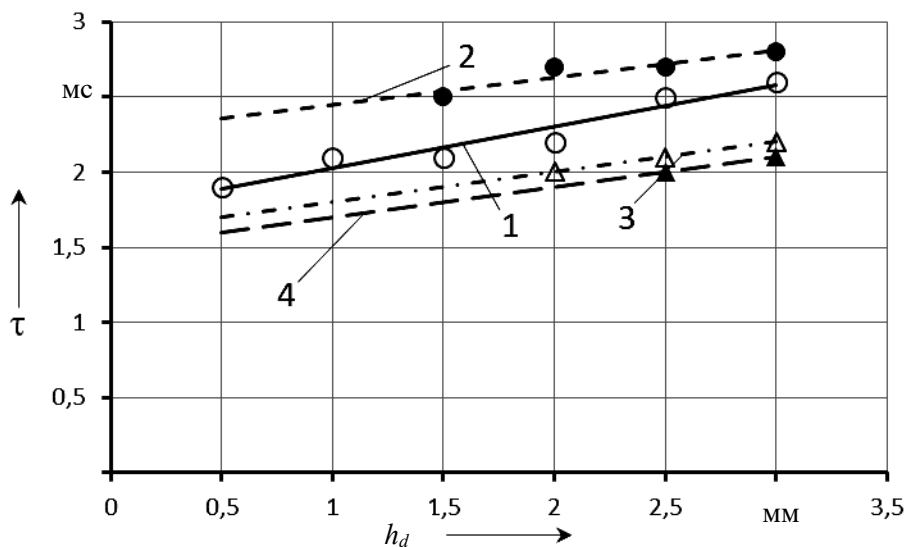


Рис. 7. Зависимость длительности сигнала, обусловленного дефектом внутренней поверхности, от глубины дефекта при различных толщинах покрытий ( $H_0 = 150$  А/см): 1 –  $\Delta = 0,9$  мм; 2 –  $\Delta = 1,8$  мм; 3 –  $\Delta = 2,54$  мм; 4 –  $\Delta = 2,7$  мм

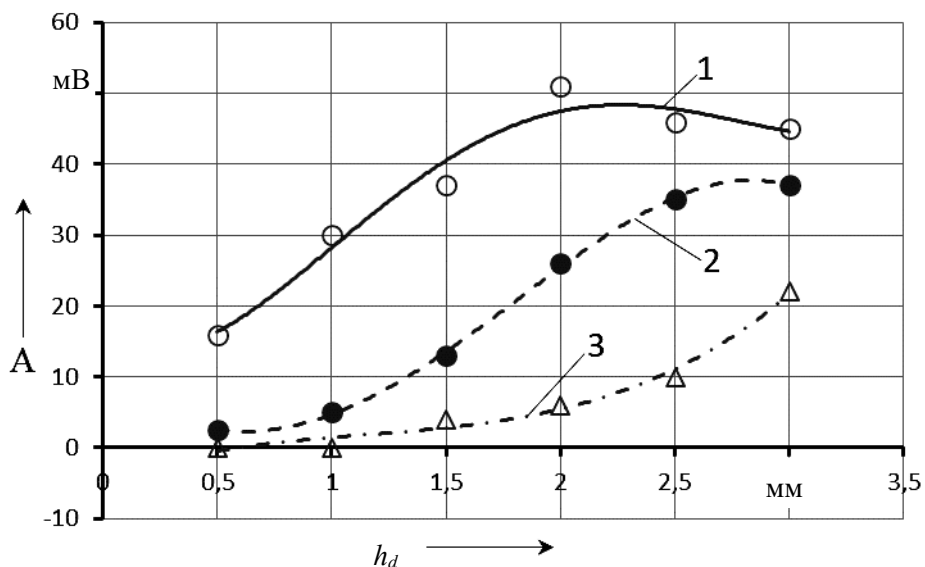


Рис. 8. Зависимость размаха сигнала, обусловленного дефектом наружной поверхности образца, от глубины дефекта при постоянной напряженности намагничивающего поля и разной толщине покрытий, позволяющих определить глубину дефекта: 1 –  $\Delta = 0,9$  мм; 2 –  $\Delta = 1,8$  мм; 3 –  $\Delta = 2,7$  мм

Иначе ведут себя указанные графики зависимостей для дефектов внутренней поверхности. Так, для де-

фекта глубиной 3 мм в диапазоне  $0,4 \text{ мм} \leq \Delta \leq 1,8 \text{ мм}$  значения  $\tau$  остаются почти постоянными, для  $h_d = 1,5$  мм

$\tau$  достигают максимума при  $\Delta = 0,25$  мм, для  $h_d = 0,5$  мм значения  $\tau$  монотонно убывают от  $0 \text{ мм} \leq \Delta \leq 1,0$  мм (см. рис. 5).

Построены графики зависимостей длительности сигнала, обусловленного дефектом наружной и внутренней поверхности, от глубины дефекта при различных толщинах покрытий

(см. рис. 6 и 7). Из графиков видно, что при постоянной глубине дефекта толщина покрытия сравнительно слабо влияет на длительность сигнала (причем для дефекта наружной поверхности слабее, чем для дефекта внутренней поверхности образца).

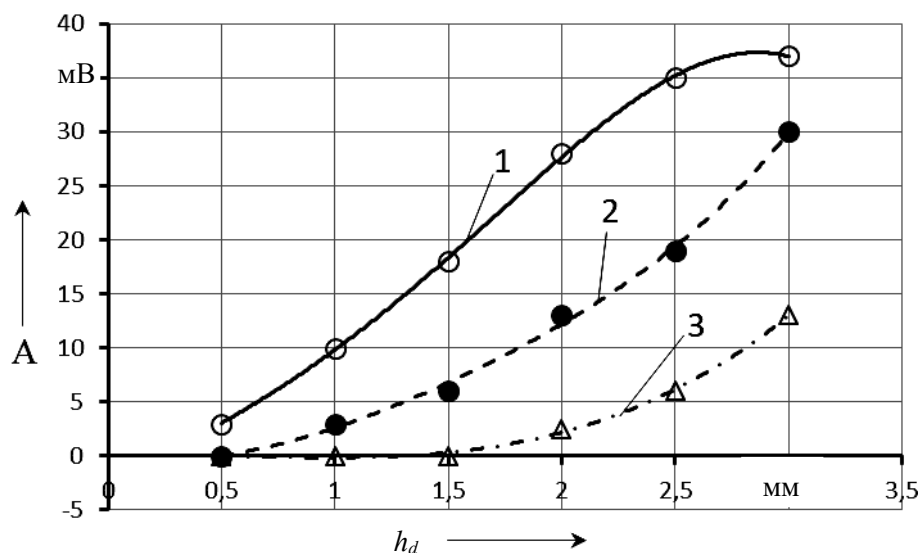


Рис. 9. Зависимость размаха сигнала, обусловленного дефектом внутренней поверхности образца, от глубины дефекта при постоянной напряженности намагничивающего поля и разной толщине покрытий, позволяющих определить глубину дефекта: 1 –  $\Delta = 0,9$ ; 2 –  $\Delta = 1,8$ ; 3 –  $\Delta = 2,7$  мм

Косвенным способом исследовали, влияет ли толщина покрытия на разрешающую способность метода. С этой целью в пластине засверливали два углубления на некотором расстоянии друг от друга. При контроле сравнивали расстояние между точками на магнитной ленте, соответствующими максимумам амплитуд сигналов при наличии и отсутствии покрытия. Эти расстояния оказались одинаковыми. Следовательно, наличие покрытия не влияет на разрешающую способность метода. При одинаковом режиме намагничивания построены номограммы в виде графиков зависимостей размаха  $A$  сигнала, обусловленного дефектом, от глубины  $h_d$  дефекта наружной и внутренней поверхности при разных толщинах покрытий (см. рис. 8 и 9). Они позволяют

определять количественно дефекты наружной и внутренней поверхности объекта при контроле.

Методика контроля реального объекта включает следующие операции. С помощью толщиномера измеряют толщину  $\Delta$  немагнитного покрытия. Затем уточняют место расположения дефекта (на наружной или внутренней поверхности), контролируя образец при намагничивании его импульсным полем. При этом обнаруживаются только дефекты наружной поверхности. По номограмме  $A(h_d)$  для соответствующей  $\Delta$  для дефекта наружной или внутренней поверхности, зная размах полезного сигнала, определяют глубину протяженного дефекта (см. рис. 8 и 9).

### Заключение

Представлены результаты экспериментальных исследований по магнитографической дефектоскопии ферромагнитных объектов с неферромагнитными покрытиями на наличие протяженных плоских дефектов вида непровар. Эксперименты выполнены на образцах, имитирующих покрытие, с несплошностями в виде профрезерованных канавок, расположенных на наружной и внутренней поверхности образца.

### Основные результаты работы

1. Чтобы исключить неоднозначность результатов при определении глубины плоского дефекта наружной или внутренней поверхности в образцах с неферромагнитными покрытиями магнитографическим методом целесообразно производить намагничивание образцов с уложенной на их поверхность магнитной лентой электромагнитом с П-образным сердечником.

2. Максимальный размах сигнала, обусловленного дефектом, в образцах с покрытиями имеет место при напряженности внешнего поля 140...150 А/см для дефектов как наружной, так и внутренней поверхности образца.

3. Толщина покрытия слабо влияет на длительность сигнала, обусловленного дефектом, при постоянной его глубине.

4. Определены предельные толщины покрытий, при которых магнито-

графическим методом могут быть обнаружены дефекты разной глубины наружной и внутренней поверхности образца: дефект наружной поверхности  $h_d = 0,5$  мм начинает обнаруживаться при толщине покрытия  $\Delta = 2$  мм; 1,0 мм – при 2,3 мм; 1,5 мм – при 2,6 мм; 2,0 мм – при 3,2 мм; 2,5 мм – при 3,8 мм; 3,0 мм – при 4,5 мм; дефект внутренней поверхности  $h_d = 0,5$  мм начинает обнаруживаться при толщине покрытия  $\Delta = 0,9$  мм; 1,0 мм – при 2,3 мм; 1,5 мм – при 2,0 мм; 2,0 мм – при 2,5 мм; 2,5 мм – при 3,1 мм; 3,0 мм – при 4,0 мм.

5. Разработан способ определения глубины плоского дефекта в ферромагнитных объектах с неферромагнитным покрытием, заключающийся в следующем: с помощью толщиномера измеряют толщину  $\Delta$  немагнитного покрытия на поверхности ферромагнитного образца, затем уточняют место расположения дефекта (на наружной или внутренней поверхности), контролируя образец магнитографическим методом при намагничивании его импульсным полем (при этом обнаруживаются только дефекты наружной поверхности), по номограмме  $A(h_d)$  для соответствующей  $\Delta$  для дефекта наружной или внутренней поверхности, зная размах полезного сигнала, определяют глубину протяженного дефекта.

6. Построены номограммы, позволяющие определять глубину дефекта наружной или внутренней поверхности образца с неферромагнитным покрытием.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25225–82. Контроль неразрушающий. Швы сварных соединений трубопроводов. Магнитографический метод. – Москва: Изд-во стандартов, 1983. – 22 с.: ил.
2. Козлов, В. С. Техника магнитографической дефектоскопии / В. С. Козлов. – Минск: Вышэйшая школа, 1976. – 256 с.: ил.
3. Неразрушающий контроль: справочник в 8 т. Т. 6, кн.1: Магнитные методы контроля / Под ред. В. В. Клюева. – 2-е изд., перераб. и испр. – Москва: Машиностроение, 2006. – 688 с.: ил.
4. Неразрушающий контроль материалов и изделий: справочник / Под ред. Г. С. Самойловича. – Москва: Машиностроение, 1976. – 456 с.: ил.
5. Бакунов, А. С. Магнитный контроль: учебное пособие для вузов / А. С. Бакунов, Э. С. Горкунов, В. Е. Щербинин; под ред. В. В. Клюева. – Москва: Спектр, 2011. – 194 с.: ил.
6. Способ магнитографического контроля ферромагнитных изделий: пат. RU 2154818 / В. А. Новиков. – Оpubл. 20.08.2000.



7. **Кушнер, А. В.** Повышение эффективности магнитографического метода контроля при намагничивании изделий перемещаемым постоянным магнитом через магнитоноситель: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / А. В. Кушнер. – Могилев, 2011. – 24 с.

8. **Фалькевич, А. С.** Магнитографический контроль сварных соединений / А. С. Фалькевич, М. Х. Хусанов. – Москва: Машиностроение, 1966. – 176 с.: ил.

*Статья сдана в редакцию 12 августа 2021 года*

**Янина Игоревна Миренкова**, магистрант, Белорусско-Российский университет. E-mail: mirenkova.97.yana@mail.ru.

**Владимир Алексеевич Новиков**, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. E-mail: novikovva@tut.by.

**Андрей Валерьевич Кушнер**, канд. техн. наук, Белорусско-Российский университет. E-mail: kushnerandrej@tut.by.

**Yanina Igorevna Mirenkova**, MSc student (Engineering). Belarusian-Russian University. E-mail: mirenkova.97.yana@mail.ru.

**Vladimir Alexeyevich Novikov**, DSc (Engineering), Prof. Belarusian-Russian University. E-mail: novikovva@tut.by.

**Andrei Valeryevich Kushner**, PhD (Engineering), Associate Prof. Belarusian-Russian University. E-mail: kushnerandrej@tut.by.