

Неразрушающий Контроль и Диагностика



Электронная версия журнала
<http://science.by/nauka/13/>

№ 3 2011

Главный редактор

Мигун Н.П.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

Редакционная коллегия:

№ 3, 2011

Аскирко С.Д.
Боровский В.В.
Венгринович В.Л.
Войцехович Л.Н.
Высоцкий М.С.
Горбаш В.Г.
Жагора Н.А.
Зуйков И.Е.
Ивлев С.А.
Кулагин В.Н.
Лухвич А.А.
Матюк В.Ф.
Мелешко А.Л.
Пантелеенко Ф.И.
Попоудина С.А.
Рудницкий В.А.
Сергеев С.С.

*Научно-практический журнал
(Электронная версия журнала
на сайте science.by)*

Учредитель

Белорусская ассоциация
неразрушающего контроля
и технической диагностики,
*республиканское общественное
объединение*

Соучредители

Институт прикладной физики
НАН Беларуси,
государственное научное учреждение

«Диатех»,
*республиканское научно-производственное
унитарное предприятие*

Неразрушающий контроль и диагностика
(Электронная версия журнала: <http://science.by/nauka/13/>)

Научно-практический журнал

Издатели

*Государственное научное учреждение
«Институт прикладной физики НАН Беларуси»*

*Республиканское научно-производственное унитарное предприятие
«Диатех»*

Адрес редакции:
220072 г. Минск, ул. Академическая, 16, к. 314.
Тел. +375 17 284 0686,
факс +375 17 284 1740,
e-mail: diatech@tut.by
URL <http://science.by/nauka/13/>

Подписано в печать 20.09.2011.
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Гарнитура Cambria.
Усл. печ. л. 6,74.
Тираж 100 экз.

Печать цифровая.
Государственное предприятие «Диатех»,
220072 г. Минск, ул. Академическая, 16.

Тексты публикуются в авторской версии без редакционных изменений.

ISSN 2224-1752 (печатная версия журнала).
ISSN 2224-5502 (электронная версия журнала).

© Государственное научное учреждение
«Институт прикладной физики НАН Беларуси», 2011

© Республиканское научно-производственное
унитарное предприятие «Диатех», 2011

УДК 620.179.14

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ И ПЕТЕЛЬ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА.

Часть II. Развитие арктангенсовой модели

The mathematical models of the magnetization curve and the magnetic hysteresis loops.

Part II. Development of the arctangent model

Матюк В.Ф., Осипов А.А.

Matyuk V.F., Osipov A.A.

Рассмотрены новые аналитические выражения на основе арктангенсов для описания основной кривой намагничивания и петель магнитного гистерезиса как предельного, так и частных циклов. Показано, что они более адекватно описывают процесс намагничивания и гистерезисный цикл по сравнению с известными аппроксимирующими выражениями, особенно в области подхода к техническому насыщению. Результаты расчета по новым формулам в широком диапазоне изменения намагничивающего поля с достаточной для практических расчетов точностью согласуются с экспериментальными данными для магнитных материалов, отличающихся по коэрцитивной силе более чем на порядок.

New analytical formulas using arctangents for the elementary magnetization curve and the magnetic hysteresis loops of limit and specific cycles are discussed. It is shown that the formulas describe more adequately the process of magnetization and the hysteresis cycle in comparison with the known approximating formulas especially in the fields near the technical saturation. The results of the new formula calculations within the wide magnetization field range conform with the sufficient practical calculations accuracy to the experimental data for magnetic materials with more than degree coercive force variety.

1. Принцип модернизации арктангенсовой аппроксимации

Проведенный в [1] анализ известных моделей процесса перемагничивания ферромагнитных материалов на основе арктангенсовых функций показал, что выражение

$$M = \chi_n \frac{H_{cs}^2 H}{H^2 + H_{cs}^2} \pm \frac{M_s}{\pi} \frac{H_m^2}{H_m^2 + k_0 H_{cs}^2} \times \left[2 \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} \pm H}{H_0} - \left(\operatorname{arctg} \frac{H_{cs} + H_m}{H_0} + \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} - H_m}{H_0} \right) \right], \quad (1)$$

где H напряженность намагничивающего поля, M – намагниченность ферромагнетика в магнитном поле напряженностью H , H_m – максимальное значение намагничивающего поля H , H_{cs} – коэрцитивная сила по предельному циклу, χ_n – начальная магнитная восприимчивость, верхние знаки относятся к нисходящей, а нижние – к восходящей ветвям петли,

$$k_0 = \frac{M_s}{\pi} \frac{\operatorname{arctg} \left(2 \frac{H_{cs}}{H_0} \right)}{M_c - \chi_n \frac{H_{cs}}{2}} - 1. \quad (2)$$

$$H_0 = \frac{H_{cs}}{\operatorname{tg} \left(\frac{\pi M_{rs}}{2 M_s} \right)}, \quad (3)$$

наиболее адекватно описывает процессы намагничивания. Поэтому примем это выражение в качестве основы для построения новой модели.

Там же показаны и недостатки данной модели. В первую очередь, она не соответствует закону Релея, так как в области слабых магнитных полей приводит к квадратичной (вместо линейной) зависимости магнитной восприимчивости от величины магнитного поля, воздействующего на ферромагнетик. Значительные отклонения от экспериментальных данных наблюдаются и в полях величиной от одной до нескольких коэрцитивных сил намагничиваемого материала. Кроме того, она плохо описывает экспериментальные данные при

подходе ферромагнетика к состоянию магнитного насыщения и приводит к несвойственному реальным петлям магнитного гистерезиса ходу намагниченности в области полей, близких по величине к коэрцитивной силе гистерезисного цикла.

Простейшим способом уменьшить отличие результатов расчета намагниченности по ветвям петли магнитного гистерезиса в области коэрцитивной силы от экспериментальных кривых является исключение в (1) первого слагаемого, когда расчеты проводятся для петли магнитного гистерезиса, и сохранение его при вычислениях основной кривой намагничивания. Однако в этом случае вершины частных петель магнитного гистерезиса не будут попадать на основную кривую намагничивания.

Для предельной петли магнитного гистерезиса рассогласование с экспериментом можно существенно уменьшить, если провести небольшую модернизацию выражения (1), записав его в виде

$$M = \chi_n \frac{H_{cs}^2 H}{H_m^2 + H_{cs}^2} \pm \frac{M_s}{\pi} \frac{H_m^2}{H_m^2 + k_0 H_{cs}^2} \times$$

$$\times \left[2 \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} \pm H}{H_0} - \left(\operatorname{arctg} \frac{H_{cs} + H_m}{H_0} + \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} - H_m}{H_0} \right) \right], \quad (4)$$

где в знаменатель первого слагаемого вместо H^2 введено H_m^2 . Тогда для предельной петли слагаемое, содержащее начальную магнитную восприимчивость χ_n , становится малым и практически не влияет на результаты расчета.

Однако для повышения точности описания петли магнитного гистерезиса во всем диапазоне изменения перемагничивающего поля требуется более существенное уточнение выражения (1). Для этого нами предложено отбросить в (1) первое слагаемое, дополнительно привязать основную кривую намагничивания к экспериментальным данным в области полей, равных двум коэрцитивным силам, и уменьшить скорость нарастания основной кривой намагничивания

при подходе к техническому насыщению. В результате введения этих уточнений выражение для петли магнитного гистерезиса принимает вид [2–5]:

$$M = \pm \frac{M_s H_m^2 k_{ts}(H) / \pi + k_1 H_{cs}^2 k_3(H_m)}{H_m^2 + k_2 H_m^{3/2} H_{cs}^{1/2} + k_1 H_{cs}^2} \times \left[2 \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} \pm H}{H'_0} - \left(\operatorname{arctg} \frac{H_{cs} + H_m}{H'_0} + \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} - H_m}{H'_0} \right) \right], \quad (5)$$

где знак «+» относится к нисходящей ветви петли гистерезиса, знак «-» – к восходящей; k_{ts} , k_1 и k_2 – безразмерные коэффициенты, определяемые точками привязки петли к экспериментальным данным, H'_0 и $k_3(H_m)$ – параметры, имеющие соответственно размерность поля и намагниченности (конкретный вид всех коэффициентов и параметров дается далее).

Положив в (5) $H_m = \infty$ и считая, что $M_s H_m^2 k_{ts}(H) / \pi \gg k_1 H_{cs}^2 k_3(H_m)$, получим выражение для предельной петли магнитного гистерезиса

$$M = \frac{2M_s k_{ts}(H)}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} \pm H}{H'_0}. \quad (6)$$

2. Математическая модель основной кривой намагничивания

При $H_m = H$ (соответствует вершинам частных петель гистерезиса) выражение (5) описывает основную кривую намагничивания [3–5]

$$M = \frac{M_s k_{ts}(H) H^2 / \pi + k_1 k_3(H) H_{cs}^2}{H^2 + k_2 H^{3/2} H_{cs}^{1/2} + k_1 H_{cs}^2} \left(\operatorname{arctg} \frac{H_{cs} + H}{H'_0} - \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} - H}{H'_0} \right). \quad (7)$$

Рассмотрим смысловую нагрузку, как математическую, так и физическую, которую несут введенные выше коэффициенты.

Параметр H'_0 (5) определен из условия, что при $H = 0$ намагниченность M по предельной петле (6) гистерезиса равна M_{rs} .

$$H'_0 = \frac{H_{cs}}{\operatorname{tg} \left(\frac{M_{rs}}{M_s k_{ts}(0)} \frac{\pi}{2} \right)}. \quad (8)$$

Коэффициент $k_{ts}(H)$ введен для уменьшения скорости нарастания намагниченности в области сильных полей. При введении этого коэффициента ставились условия, чтобы он не оказывал влияния на изменение намагниченности в области Релея ($H \ll H_{ts}$) и в области парапроцесса ($H \gg H_{ts}$), а при $H = H_{ms}$ равнялся единице, где H_{ms} – максимальная напряженность намагничивающего поля, при которой измерялась M_s , H_{ts} – поле, при котором достигается техническое насыщение (для сплавов на основе железа $H_{ts} \approx 32$ кА/м [6]). Таким условиям удовлетворяет выражение

$$k_{ts}(H) = \sqrt{\frac{H_{ts}^2 + \pi H^2}{H_{ts}^2 + 2H^2} \frac{H_{ts}^2 + 2H_{ms}^2}{H_{ts}^2 + \pi H_{ms}^2}}. \quad (9)$$

Из него видно, что влияние коэффициента k_{ts} ограничено областью поля вблизи технического насыщения.

Коэффициент k_1 введен для привязки модели основной кривой намагничивания в точке $H = H_{cs}$ к величине $M = M_c$. Положив в (7) $k_2 = 0$ для упрощения вывода k_1 , получим

$$M = \frac{M_s k_{ts}(H) H^2 / \pi + k_1 k_3(H) H_{cs}^2}{H^2 + k_1 H_{cs}^2} \left(\operatorname{arctg} \frac{H_{cs} + H}{H'_0} - \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} - H}{H'_0} \right). \quad (10)$$

При $H = H_{cs}$

$$M = M_c = \frac{M_s k_{ts}(H_{cs}) / \pi + k_1 k_3(H_{cs})}{1 + k_1} \operatorname{arctg} \frac{2H_{cs}}{H'_0}. \quad (11)$$

Откуда

$$k_1 = \left[M_s k_{ts}(H = H_{cs}) \pi^{-1} \operatorname{arctg} \frac{2H_{cs}}{H'_0} - M_c \right] \left[M_c - k_3(H_{cs}) \operatorname{arctg} \frac{2H_{cs}}{H'_0} \right]^{-1}. \quad (12)$$

Из (12) видно, что при определении k_1 имеется особая точка

$$M_c - k_3(H_{cs}) \operatorname{arctg} \frac{2H_{cs}}{H'_0} = 0. \quad (13)$$

Чтобы исключить ее, перепишем выражение (13) так, чтобы в этой точке значение k_1 мало отличалась от его значений в соседних точках. Тогда

$$k_1 = \sqrt{\frac{4\pi^2 \left[\frac{1}{M_c} \frac{M_s k_{ts}(H = H_{cs})}{\pi} \operatorname{arctg} \left(2 \frac{H_{cs}}{H'_0} \right) - 1 \right]^2 + 1}{4\pi^2 \left[1 - \frac{1}{M_c} k_3(H = H_{cs}) \operatorname{arctg} \left(2 \frac{H_{cs}}{H'_0} \right) \right]^2 + 1}} \quad (14)$$

и в особой точке

$$k_1 = \sqrt{4\pi^2 \left[\frac{M_s k_{ts}(H = H_{cs})}{\pi k_3(H = H_{cs})} - 1 \right]^2 + 1}. \quad (15)$$

Анализ экспериментальных данных для большого класса магнитных материалов показал, что величину M_c можно выразить через M_{rs} в соответствии с соотношением (при коэффициенте корреляции, превышающем 0,96) [5]

$$M_c \approx 0,94M_{rs} - 0,3 \cdot 10^6. \quad (16)$$

Поэтому, в случае отсутствия величины M_c среди имеющихся для построения модели параметров, можно с приемлемой для практических расчетов точностью, выражение для коэффициента k_1 представить в виде

$$k_1 = \sqrt{\frac{4\pi^2 \left[\frac{1}{0,94M_{rs} - 0,3 \cdot 10^6} \frac{M_s k_{ts}(H = H_{cs})}{\pi} \operatorname{arctg} \left(2 \frac{H_{cs}}{H'_0} \right) - 1 \right]^2 + 1}{4\pi^2 \left[1 - \frac{1}{0,94M_{rs} - 0,3 \cdot 10^6} k_3 (H = H_{cs}) \operatorname{arctg} \left(2 \frac{H_{cs}}{H'_0} \right) \right]^2 + 1}}, \quad (17)$$

сохранив привязку модели в точке $H = H_{cs}$.

Следует отметить также, что погрешность в определении k_1 для (5) менее значима, чем погрешность в определении коэффициента k_0 для (1), поскольку k_1 является промежуточным коэффициентом, определенным до введения коэффициента k_2 .

Коэффициент k_2 введен для привязки модели основной кривой намагничивания к экспериментальным данным при $H = 2H_{cs}$. При этом поле намагниченность $M = M_{2c}$. Привязка в данной точке позволяет более точно описать основную кривую намагничивания при $H > H_{cs}$. Тем самым коэффициенты k_1 и k_2 дополняют друг друга, обеспечивая более точное описание экспериментальных значений в разных областях основной кривой намагничивания. Область полей порядка двух коэрцитивных сил на основной кривой намагничивания важна тем, что здесь намагниченность приблизительно равна величине остаточной намагниченности M_{rs} по ветвям петли гистерезиса.

Из (7) при $H = H_{cs}$ $M = M_{2c}$ получаем

$$M_{2c} = \frac{4M_s k_{ts} (2H_{cs}) / \pi + k_1 k_3 (2H_{cs})}{4 + \sqrt{8} k_2 + k_1} \left(\operatorname{arctg} 3 \frac{H_{cs}}{H'_0} + \operatorname{arctg} \frac{H_{cs}}{H'_0} \right). \quad (18)$$

Откуда

$$k_2 = \frac{1}{\sqrt{8}} \left\{ \frac{4M_s k_{ts}(H=2H_{cs})/\pi + k_1 k_3(H=2H_{cs})}{M_{2c}} \left[\operatorname{arctg} \left(3 \frac{H_{cs}}{H'_0} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{H_{cs}}{H'_0} \right) \right] - 4 - k_1 \right\}. \quad (19)$$

Анализ экспериментальных данных показал, что [5]

$$M_{2c} \approx 0,84M_{rs} + 0,2 \cdot 10^6. \quad (20)$$

Выражение (20) рекомендуется использовать в случае отсутствия величины M_{2c} среди имеющихся для построения модели параметров. Тогда

$$k_2 = \frac{1}{\sqrt{8}} \left\{ \frac{4M_s k_{ts}(H=2H_{cs})/\pi + k_1 k_3(H=2H_{cs})}{0,84M_{rs} + 0,2 \cdot 10^6} \left[\operatorname{arctg} \left(3 \frac{H_{cs}}{H'_0} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{H_{cs}}{H'_0} \right) \right] - 4 - k_1 \right\}. \quad (21)$$

Коэффициент k_3 введем так, чтобы для основной кривой намагничивания (7) в области слабых полей соблюдался закон Релея.

$$M = \chi_n H + b_R H^2 = \chi_n H + \frac{2M_r}{H^2} H^2 = H \left(\chi_n + \frac{2M_r}{H^2} H \right), \quad (22)$$

где b_R – коэффициент Релея.

Выражение для остаточной намагниченности M_r любого частного цикла может быть получено из (5), положив при $H = 0$ $M = M_r$.

$$M_r = \frac{M_s k_{ts}(0) H_m^2 / \pi + k_1 k_3(H_m) H_{cs}^2}{H_m^2 + k_2 H_m^{3/2} H_{cs}^{1/2} + k_1 H_{cs}^2} \left[2 \operatorname{arctg} \frac{H_{cs}}{H'_0} - \left(\operatorname{arctg} \frac{H_{cs} + H_m}{H'_0} + \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} - H_m}{H'_0} \right) \right]. \quad (23)$$

Проведя в (7) преобразование арктангенсов, получим

$$M = \frac{M_s k_{ts}(H) H^2 / \pi + k_1 k_3(H) H_{cs}^2}{H^2 + k_2 H^{3/2} H_{cs}^{1/2} + k_1 H_{cs}^2} \operatorname{arctg} \frac{2HH'_0}{H_0'^2 + H_{cs}^2 - H^2}. \quad (24)$$

Из (24) для области слабых полей ($H \ll H_{cs}$), получим

$$k_3(H) = \frac{\chi_H H_{cs}^2 / H'_0}{2(H^2 + H_{cs}^2)} (H_0'^2 + H_{cs}^2 - H^2) \cdot \left[1 + \frac{2H_{cs}^3 (H_0'^2 + H_{cs}^2 - H^2)}{(H_{cs}^2 + H_0'^2)^2 (H^2 + H_{cs}^2)} H \right]. \quad (25)$$

Полную относительную магнитную восприимчивость $\chi^{\text{ок}}$ для основной кривой намагничивания на основании выражения (7) можно представить в виде

$$\chi^{\text{ок}} = \frac{M}{H} = \frac{M_s k_{ts}(H) / \pi + k_1 k_3(H) H_{cs}^2 / H^2}{H^2 + k_2 H^{3/2} H_{cs}^{1/2} + k_1 H_{cs}^2} H \left(\operatorname{arctg} \frac{H_{cs} + H}{H'_0} - \operatorname{arctg} \frac{H_{cs} - H}{H'_0} \right). \quad (26)$$

Проведя разложение выражения (26) по малому параметру при выполнении условий $H \ll k_1 H_{cs}$, $H \ll H'_0$ и $Hk_2/k_1 \ll H_{cs}$, получаем величину магнитной восприимчивости в области слабых полей ($H \ll H_{cs}$)

$$\chi^{\text{ок}} \approx \chi_H \left(1 + \frac{2H_{cs}^3 (H_0'^2 + H_{cs}^2 - H^2)}{(H_{cs}^2 + H_0'^2)^2 (H^2 + H_{cs}^2)} H \right). \quad (27)$$

При $H = 0$ величина $\chi^{\text{ок}} = \chi_H$. Таким образом, формула (5) согласуется с установленным Релеем универсальным параболическим законом намагничивания в слабых полях. Причем из (22) и (27) следует

$$b_R = \chi_H \frac{2H_{cs}^3 (H_0'^2 + H_{cs}^2 - H^2)}{(H_{cs}^2 + H_0'^2)^2 (H^2 + H_{cs}^2)}. \quad (28)$$

То есть из (5) получена формула (28), которую можно использовать для непосредственного расчета коэффициента Релея b_R .

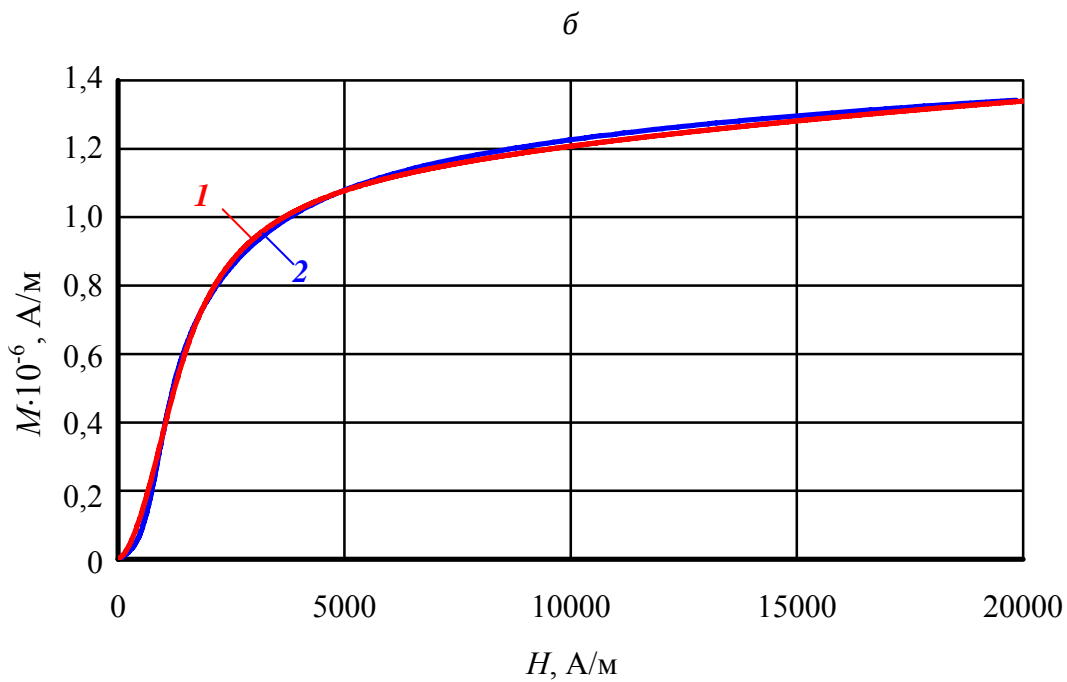
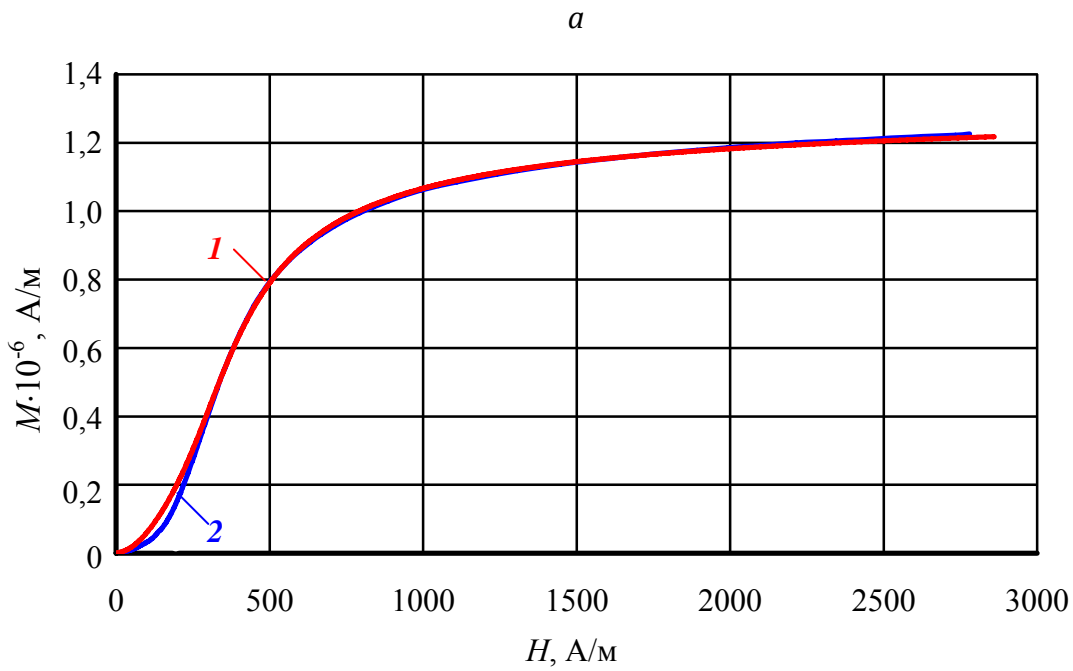
По (7) можно рассчитать также **дифференциальную магнитную восприимчивость** $\chi_d^{OK} = dM / dH$ для основной кривой. Однако она имеет очень сложный вид, так что для практического использования предпочтительнее численное дифференцирование выражения (7).

Сравнение предложенной модели основной кривой намагничивания и расчетов по ней полной и дифференциальной магнитных восприимчивостей с экспериментальными данными проводилось на магнитоизмерительной установке УИМХ [7] на кольцевых образцах из сталей 08кп и 60С2, подвергнутых термической обработке, обеспечившей изменение их коэрцитивной силы от 297 до 3120 А/м.

Сравнение показало хорошее совпадение расчетной и экспериментально снятой основной кривой намагничивания для всех исследуемых образцов. Небольшое различие кривых для образцов с разными магнитными свойствами наблюдается на разных участках основной кривой. Такое различие для магнитомягкого образца наблюдается при $H < H_{cs}$ (рисунок 1, а), а для магнитотвердого – при $H_{cs} < H < 2H_{cs}$ (рисунок 2, а и б).

Неплохо согласуется с экспериментальными данными и ход изменения полной магнитной восприимчивости (рисунки 3 и 4).

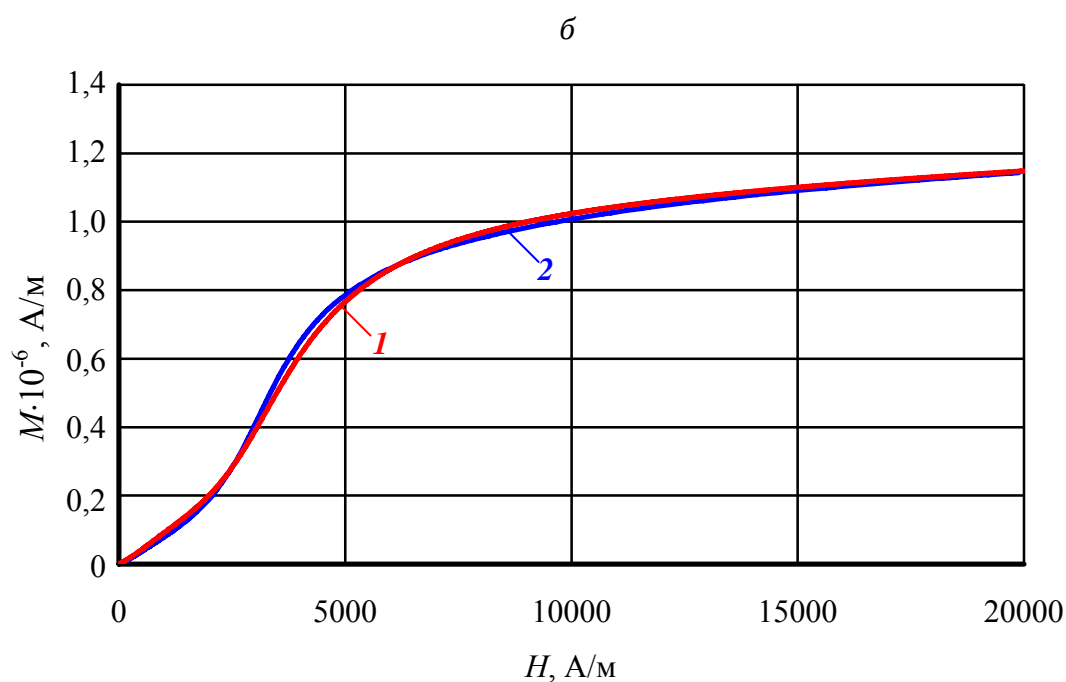
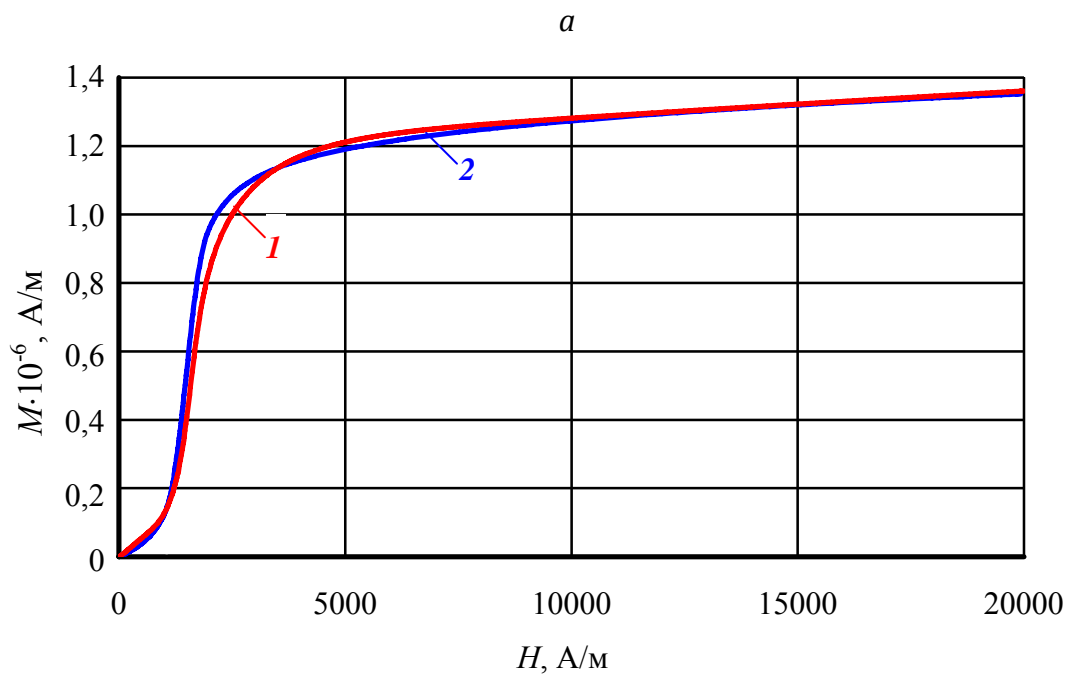
Следует отметить, что результаты расчета дают несколько заниженную величину полной магнитной восприимчивости. Тем не менее, описание основной кривой намагничивания по формуле (7) вполне приемлемо для решения практических задач.



а: $H_{cs} = 297 \text{ A/m}$; $M_r = 0,86 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_s = 1,22 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_c = 0,44 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $\chi_H = 125$

б: $H_{cs} = 907 \text{ A/m}$; $M_r = 0,69 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_s = 1,35 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_c = 0,31 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $\chi_H = 66$

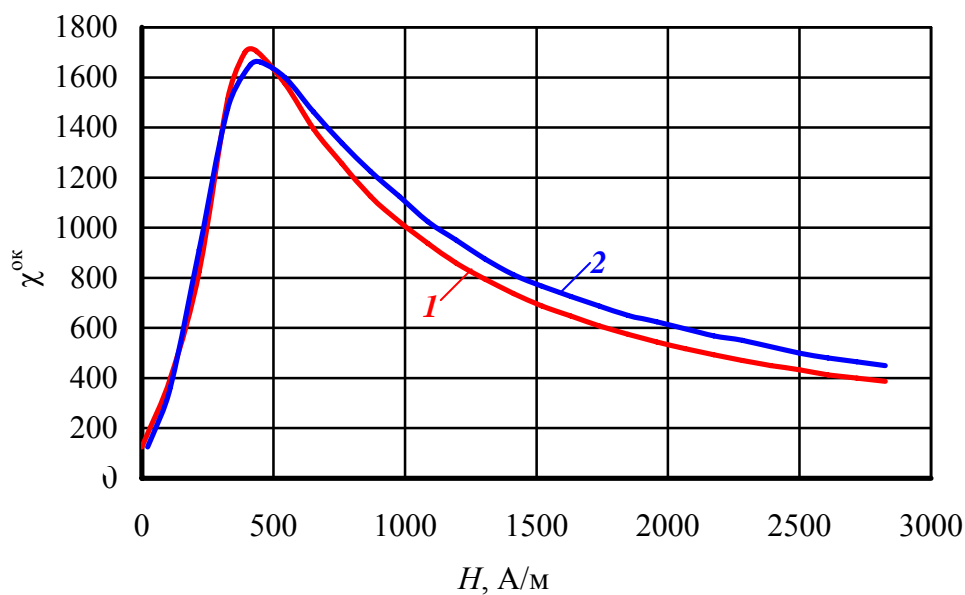
Рис. 1. Основная кривая намагничивания, рассчитанная по модернизированной формуле (1) и снятая экспериментально (2)



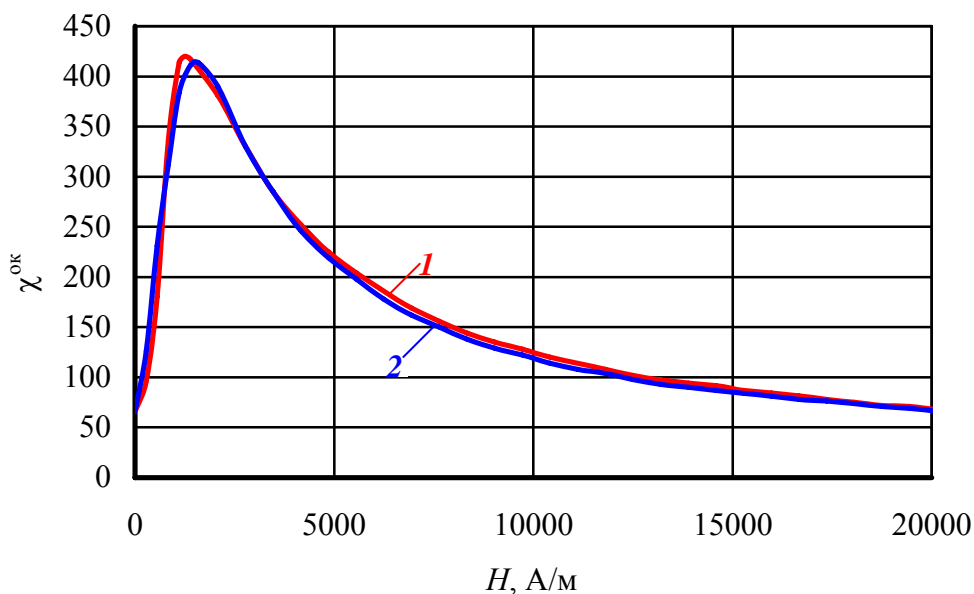
а: $H_{cs} = 1570$ А/м; $M_r = 1,1 \cdot 10^6$ А/м; $M_s = 1,35 \cdot 10^6$ А/м; $M_c = 0,62 \cdot 10^6$ А/м; $\chi_H = 56$
 б: $H_{cs} = 3120$ А/м; $M_r = 0,76 \cdot 10^6$ А/м; $M_s = 1,15 \cdot 10^6$ А/м; $M_c = 0,44 \cdot 10^6$ А/м; $\chi_H = 49$

Рис. 2. Основная кривая намагничивания, рассчитанная по модернизированной формуле (1) и снятая экспериментально (2)

а



б

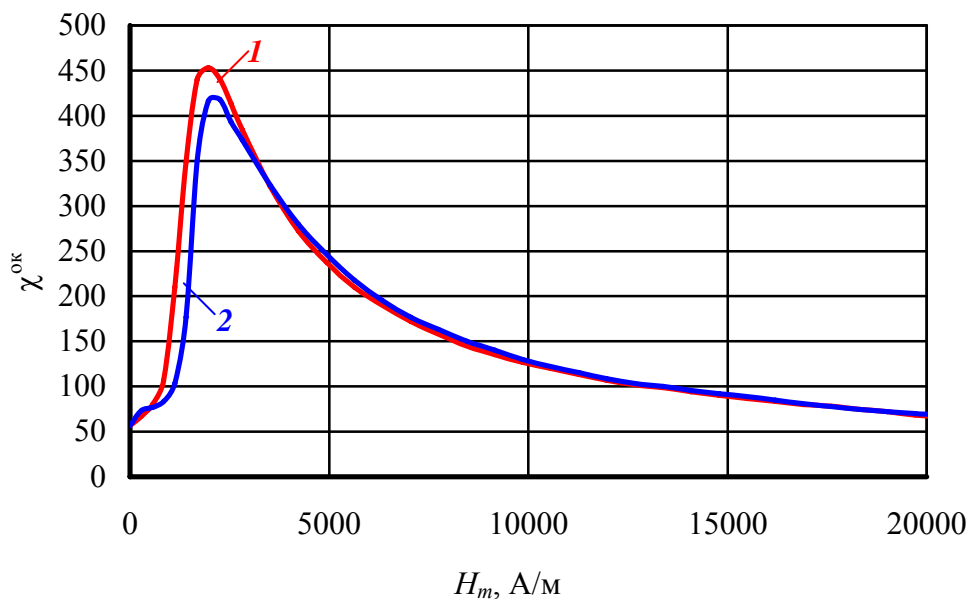


а: $H_{cs} = 297 \text{ A/m}$; $M_r = 0,86 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_s = 1,22 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_c = 0,44 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $\chi_n = 125$

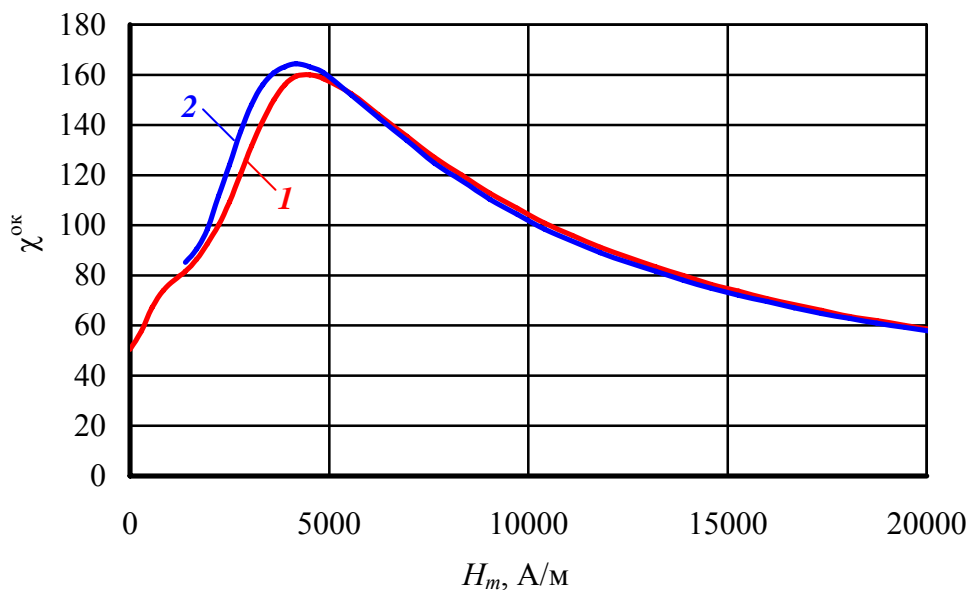
б: $H_{cs} = 907 \text{ A/m}$; $M_r = 0,69 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_s = 1,35 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_c = 0,31 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $\chi_n = 66$

Рис. 3. Зависимость полной магнитной восприимчивости по основной кривой намагничивания, рассчитанной по модернизированной формуле (1) и снятой экспериментально (2)

а



б



а: $H_{cs} = 1570 \text{ A/m}$; $M_r = 1,1 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_s = 1,35 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_c = 0,62 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $\chi_n = 56$
 б: $H_{cs} = 3120 \text{ A/m}$; $M_r = 0,76 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_s = 1,15 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $M_c = 0,44 \cdot 10^6 \text{ A/m}$; $\chi_n = 49$

Рис. 4. Зависимость полной магнитной восприимчивости по основной кривой намагничивания, рассчитанной по модернизированной формуле (1) и снятой экспериментально (2)

Модель предельной петли магнитного гистерезиса

Изменение намагниченности ферромагнитного материала по предельной петле гистерезиса описывается выражением (6). На рисунках 5 и 6 представлено сравнение предельных петель магнитного гистерезиса, рассчитанных по (6) и снятых экспериментально на тех же образцах, что и при исследовании основной кривой намагничивания. В целом видно, что расчет хорошо согласуется с экспериментальными данными. Рассмотрим это соответствие подробнее.

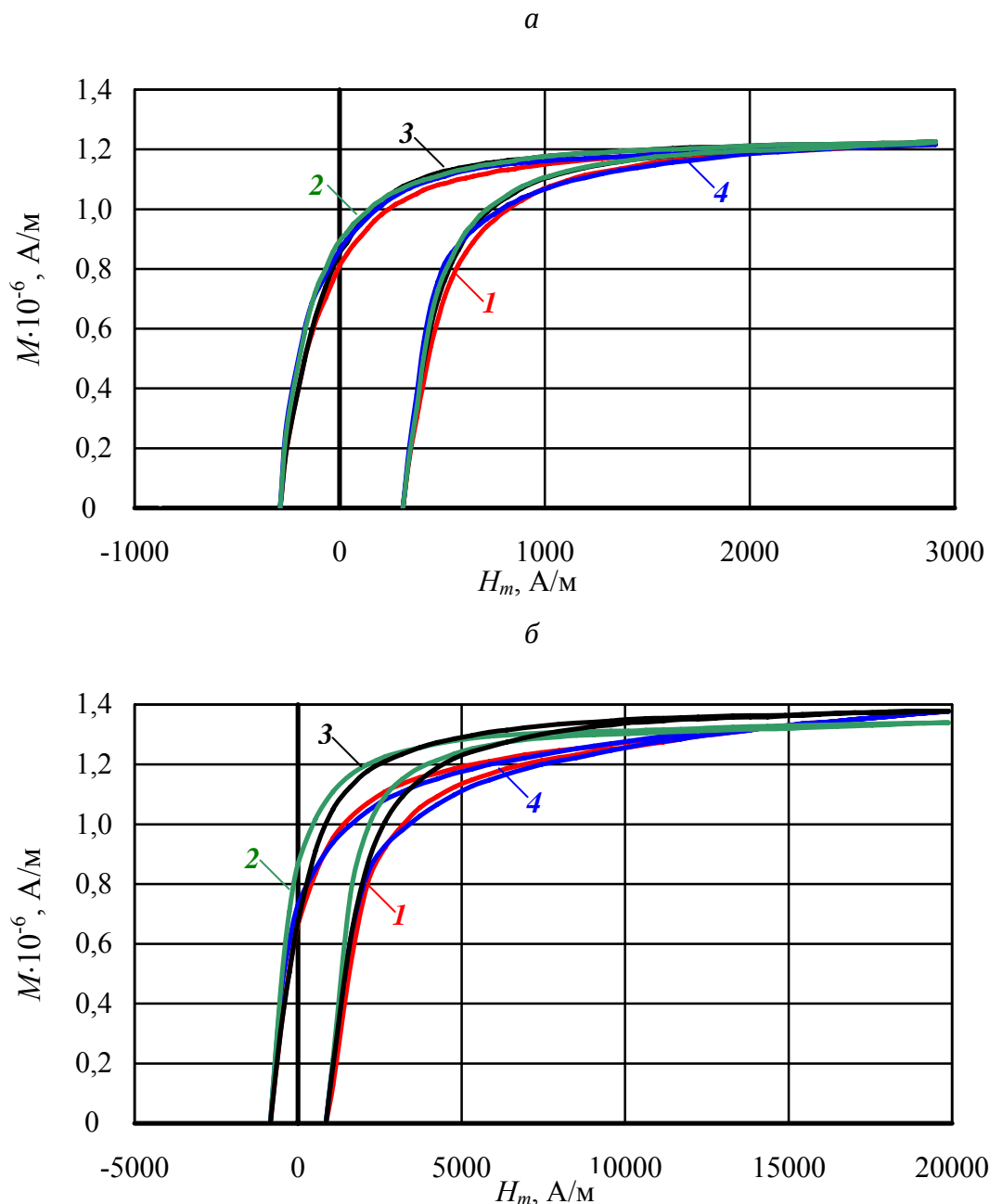
Из рисунка 5, а видно, что экспериментальные данные для образца с коэрцитивной силой 297 А/м хорошо описываются как формулой (6), так и (41) из [1] и (1).

В то же время расчет по формуле (6) для образца с коэрцитивной силой 907 А/м (рисунок 5, б) приводит к существенно более высокой согласованности с экспериментом, чем вычисления по (41) из [1] и (1). Для последних наибольшее отличие от экспериментальной петли наблюдается по восходящей ветви петли гистерезиса при перемагничивающих полях, превышающих $2H_{cs}$, и по нисходящей ветви петли гистерезиса при полях, больших $-H_{cs}$. Исключение составляет область вблизи точки $H = 0$ для (1). Несогласованность с экспериментом моделей (41) из [1] и (1) возрастает по мере роста коэрцитивной силы перемагничиваемого материала (образцы с $H_{cs} = 1570$ А/м и $H_{cs} = 3120$ А/м на рисунке 6). Для модели, описываемой выражением (6), отличие от экспериментальных петель более жестких в магнитном отношении образцов значительно меньше. Это связано с тем, что модель (6) описывает подход к насыщению ферромагнитного материала более адекватно, поскольку учитывает поле технического насыщения H_{ts} , которое входит в выражение для определения коэффициента $k_{ts}(H)$. Кроме того, поле H_{ts} учитывается и в выражении для параметра H'_0 . Это отличие выражений хорошо видно при сравнении формул (41) из [1] и (1) с формулой (6).

Таким образом, существенный недостаток моделей (41) из [1] и (1), заключающийся в том, что они недостаточно плавно описывают процесс подхода ферромагнетика к насыщению, в (6) устранен, поэтому на рисунках 5 и 6 ход расчетных и экспериментальных кривых согласован существенно лучше.

Необходимо отметить, что те же недостатки будут наблюдаться для моделей (41) из [1] и (1) и для образца с коэрцитивной силой,

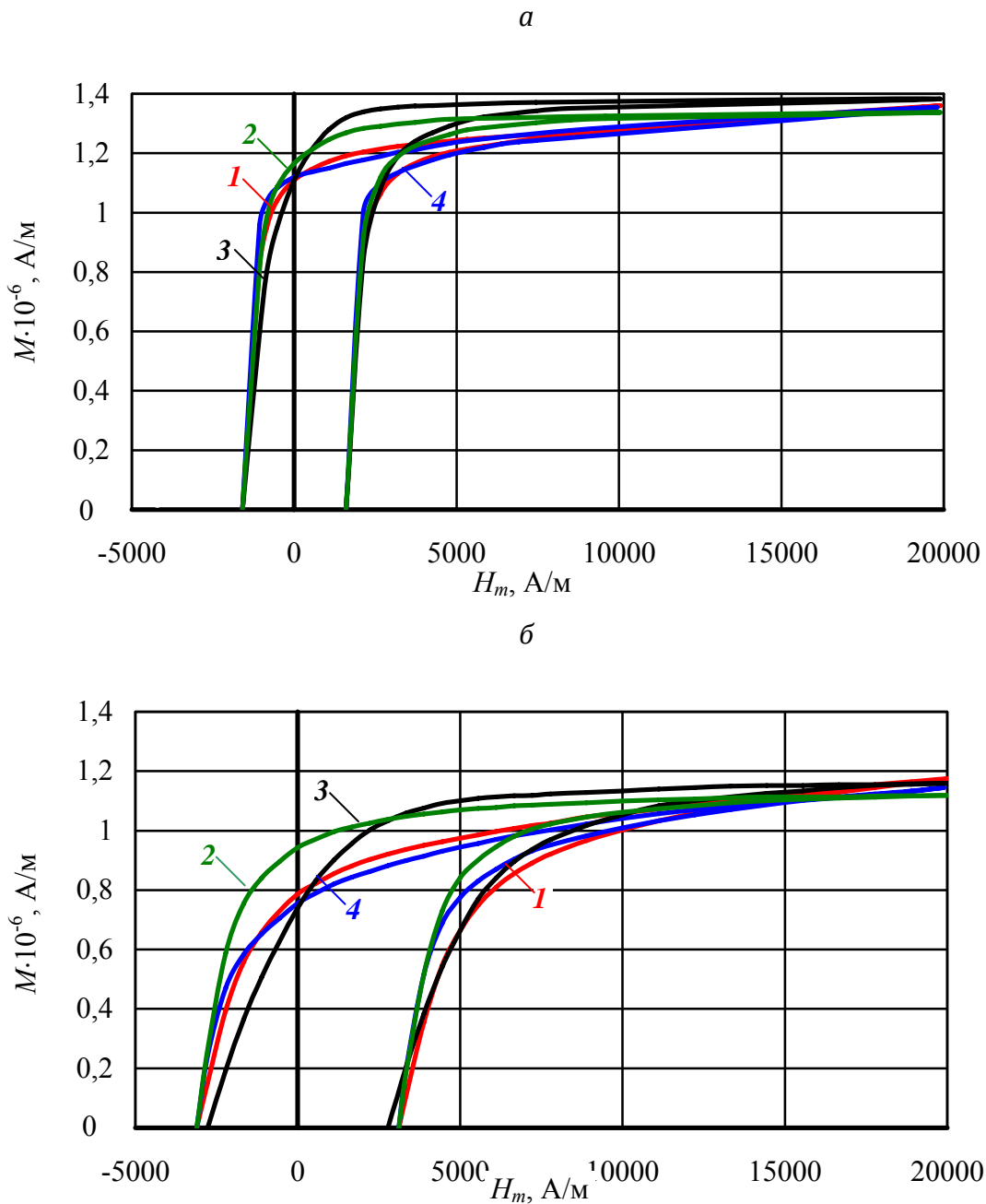
равной 297 А/м, при увеличении напряженности поля H_m более 3000 А/м, когда подход к состоянию магнитного насыщения перематничиваемого ферромагнетика будет выражен сильнее.



а: $H_{cs} = 297$ А/м; $M_r = 0,86 \cdot 10^6$ А/м; $M_s = 1,22 \cdot 10^6$ А/м; $M_c = 0,44 \cdot 10^6$ А/м; $\chi_n = 125$

б: $H_{cs} = 907$ А/м; $M_r = 0,69 \cdot 10^6$ А/м; $M_s = 1,35 \cdot 10^6$ А/м; $M_c = 0,31 \cdot 10^6$ А/м; $\chi_n = 66$

Рис. 5. Предельные петли магнитного гистерезиса, рассчитанные по модернизированной формуле (6) – **1**, по (41) из [1] – **2**, по (1) – **3** и снятые экспериментально – **4**



а: $H_{cs} = 1570 \text{ А/м}$; $M_r = 1,1 \cdot 10^6 \text{ А/м}$; $M_s = 1,35 \cdot 10^6 \text{ А/м}$; $M_c = 0,62 \cdot 10^6 \text{ А/м}$; $\chi_H = 56$

б: $H_{cs} = 3120 \text{ А/м}$; $M_r = 0,76 \cdot 10^6 \text{ А/м}$; $M_s = 1,15 \cdot 10^6 \text{ А/м}$; $M_c = 0,44 \cdot 10^6 \text{ А/м}$; $\chi_H = 49$

Рис. 6. Предельные петли магнитного гистерезиса, рассчитанные по модернизированной формуле (6) – **1**, по (41) из [1] – **2**, по (1) – **3** и снятые экспериментально – **4**

Частные петли магнитного гистерезиса

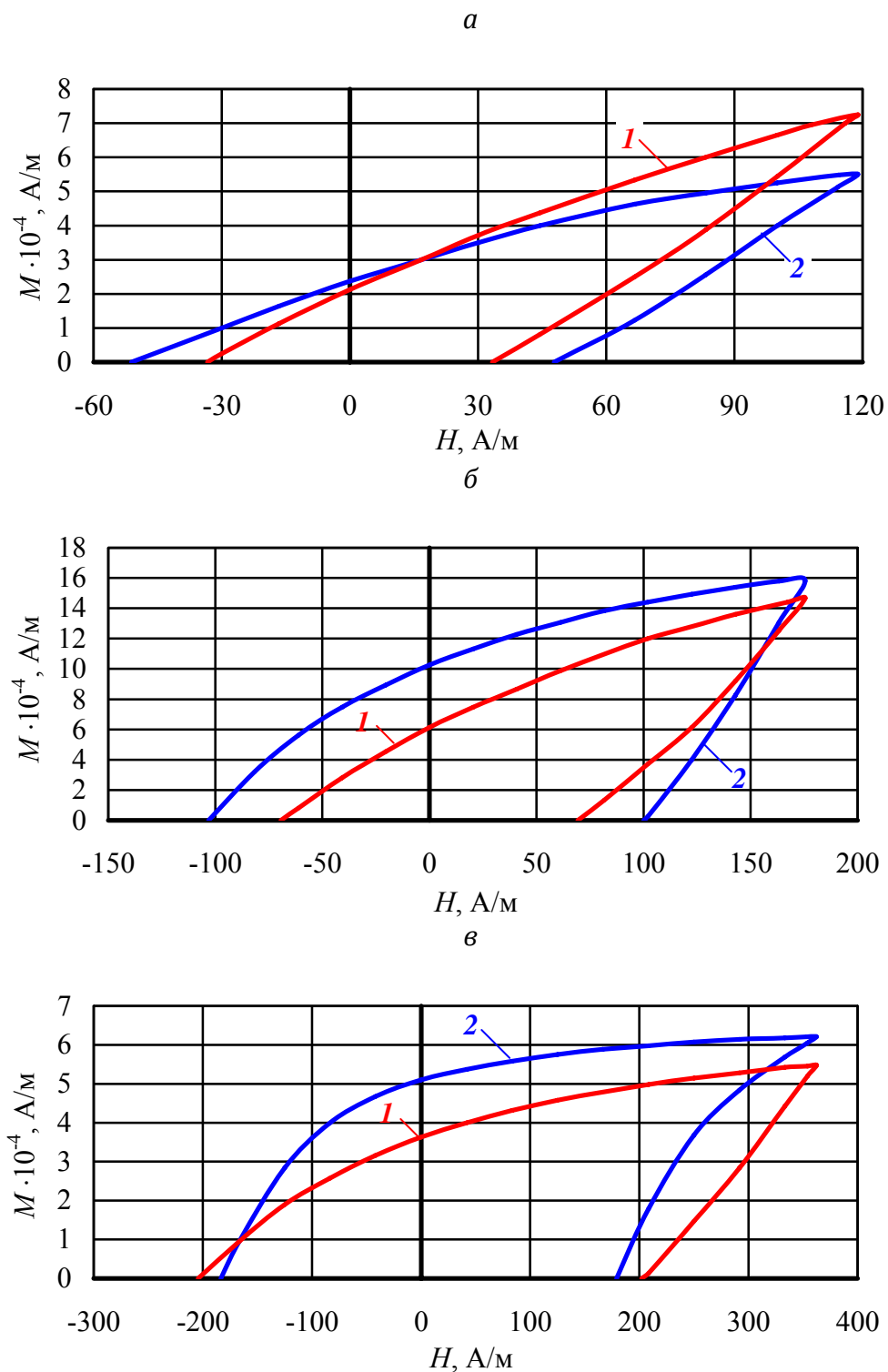
Выражение (5) обеспечивает аппроксимацию каждой частной петли по результатам измерения магнитных параметров ферромагнетика по предельной петле гистерезиса. Используя его, можно по четырем основным магнитным параметрам для предельной петли магнитного гистерезиса (коэрцитивной силе H_{cs} , остаточной намагниченности M_{rs} , намагниченности насыщения M_s и начальной восприимчивости χ_n) получить весь спектр частных петель магнитного гистерезиса для данного образца.

Здесь необходимо отметить, что серьезным недостатком, который существенно влияет на согласованность результатов расчета и эксперимента известных моделей на основе арктангенсовых функций, является то, что они плохо описывают экспериментальные данные при приближении ферромагнетика к насыщению. Это обстоятельство важно не только для предельной петли магнитного гистерезиса, что было рассмотрено нами ранее, но и для частных петель, поскольку искажается форма тех частных петель по (40) и (44) из [1], и (1), которые близки к предельной петле магнитного гистерезиса.

Частные петли магнитного гистерезиса, рассчитанные по (5) при H_m , значительно больших величины H_{cs} , хорошо согласуются с экспериментальными данными (как и для предельных петель гистерезиса), поскольку в данной формуле учитывается поле технического насыщения H_{ts} .

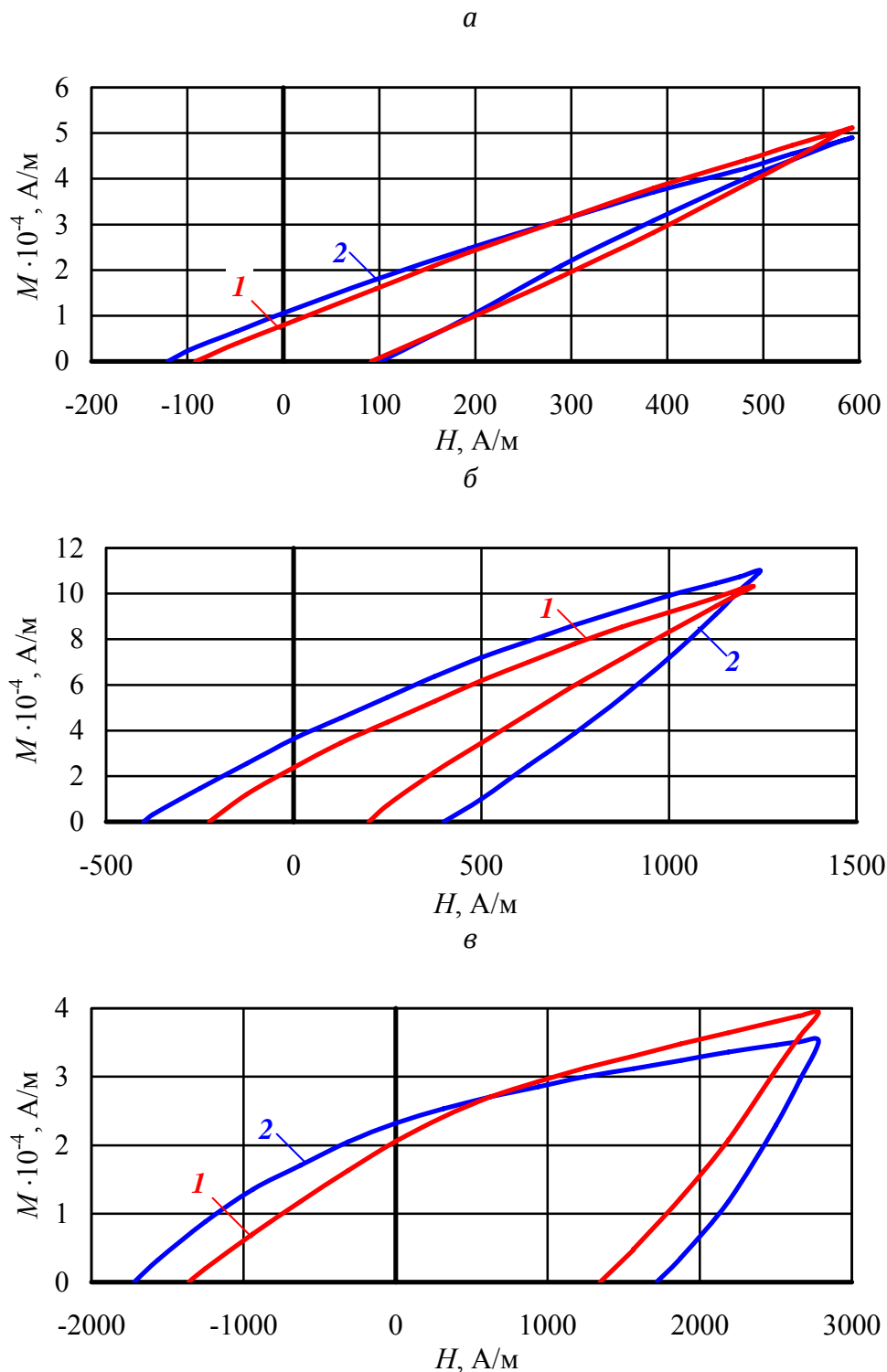
Поскольку выражение (5) не противоречит закону Релея, то в области слабых полей оно приводит к квадратичной зависимости намагниченности и линейной зависимости магнитной восприимчивости от величины перемагничивающего поля.

Сравнение экспериментально снятых частных петель магнитного гистерезиса на образцах, отличающихся по коэрцитивной силе более чем на порядок, с результатами расчета по (5) показало, что эти петли хорошо описываются предложенной моделью при величинах максимального поля, значительно превышающих коэрцитивную силу, и в области слабых магнитных полей (рисунки 7 и 8), то есть в области Релея.



H_m : *a* - 120 A/м; *б* - 175 A/м; *в* - 350 A/м;
 $H_{cs} = 297$ A/м; $M_{rs} = 0,86 \cdot 10^6$ A/м; $M_s = 1,22 \cdot 10^6$ A/м; $M_c = 0,44 \cdot 10^6$ A/м; $\chi_n = 125$

Рис. 7. Частные петли магнитного гистерезиса, рассчитанные по модернизированной формуле (1) и снятые экспериментально (2)



H_m : а - 600 А/м; б - 1250 А/м; в - 2800 А/м;
 $H_{cs} = 3120$ А/м; $M_{rs} = 0,76 \cdot 10^6$ А/м; $M_s = 1,15 \cdot 10^6$ А/м; $M_c = 0,44 \cdot 10^6$ А/м; $\chi_n = 49$

Рис. 8. Частные петли магнитного гистерезиса, рассчитанные по модернизированной формуле (1) и снятые экспериментально (2)

Заметно хуже формула (5) описывает экспериментальные данные по частным петлям магнитного гистерезиса при полях порядка коэрцитивной силы (рисунки 7 и 8). В данной области полей особенно велика погрешность расчета для образцов, вид предельной петли магнитного гистерезиса которых близок по форме к прямоугольной. Причем эта погрешность существенно уменьшается как при более низких, так и при более высоких значениях максимальной величины перемагничивающего поля H_m .

В целом же проведенное сравнение расчета с экспериментом для образцов сталей, коэрцитивные силы которых отличаются более чем на порядок (от 297 до 3120 А/м), показало, что расчет согласуется с экспериментом удовлетворительно в широком интервале изменения перемагничивающих полей. Выражение (5) обеспечивает получение всего спектра частных петель гистерезиса всего лишь по четырем известным магнитным характеристикам предельной петли магнитного гистерезиса. Причем даже в тех случаях, когда экспериментальное получение частных петель магнитного гистерезиса затруднительно по техническим причинам

Заключение

1. Предложенные модели основной кривой намагничивания и петли магнитного гистерезиса точнее, чем известные, описывают экспериментальные данные в области слабых, средних ($H_m = 2H_{cs}$) и сильных магнитных полей, согласуются с законом Релея и позволяют построить любую частную петлю гистерезиса, используя табличные значения шести параметров основной кривой намагничивания и предельной петли магнитного гистерезиса (начальной восприимчивости χ_n , коэрцитивной силы H_{cs} , остаточной намагниченности M_{rs} и намагниченности насыщения M_s , намагниченности M_c при поле, равном H_{cs} , и намагниченности M_{2c} при поле, равном $2H_{cs}$).

2. Для практических расчетов можно уменьшить до четырех число входящих в модель параметров основной кривой намагничива-

ния и предельной петли магнитного гистерезиса (χ_H , H_{cs} , M_{rs} и M_s) за счет замены величин M_c и M_{2c} на величину M_{rs} с соответствующими коэффициентами.

3. На основе предложенной модели основной кривой намагничивания получена формула, позволяющая рассчитать коэффициент Релея

Литература

1. Матюк В.Ф., Осипов А.А. Математические модели кривой намагничивания и петля магнитного гистерезиса. Часть I. Анализ моделей. – 2011, № 2, с. XX–XX.
2. Матюк В.Ф., Осипов А.А. Математическая модель петли магнитного гистерезиса. – Доклады НАН Беларуси, 2004, т. 48, № 2, с. 52–55.
3. Матюк В.Ф., Осипов А.А. Математическая модель намагничивания ферромагнетиков. – Доклады НАН Беларуси, 2004, т. 48, № 5, с. 43–45.
4. Матюк В.Ф., Осипов А.А. Повышение точности арктангенсовой аппроксимации процесса перемагничивания ферромагнитных материалов. – В кн.: XVII Российская научно-техническая конф. с международным участием "Неразрушающий контроль и диагностика". Тезисы докл. – Екатеринбург, 2005, с. 21.
5. Матюк В.Ф., Осипов А.А. Математическое моделирование процесса перемагничивания ферромагнитных материалов. – В кн: Достижения физики неразрушающего контроля. – Минск: Институт прикладной физики НАН Беларуси, 2003, с. 200–211.
6. Вонсовский С.В., Шур Я.С. Ферромагнетизм. – М.-Л.: Гостехиздат, 1948. – 816 с.
7. Матюк В.Ф., Осипов А.А. Установка УИМХ для измерения магнитных характеристик магнитомягких материалов и изделий. – Дефектоскопия, 2007, № 3, с. 12–25.

Статья поступила в редакцию 17.06.11

**ВИХРЕТОКОВЫЙ ДЕФЕКТОСКОП ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГИЛЬЗ
БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**
*EDDY CURRENT DEFECTOSCOPE FOR CONTROL CYLINDER LINERS
OF DIESEL ENGINE*

Чернышев А.В., Загорский И.Е.
Chernyshev A.V., Zagorsky I.E.

В статье приведены данные о принципе действия вихретокового дефектоскопа типа НТ-8, содержащего шестнадцать накладных преобразователей и предназначенного для обнаружения дефектов сплошности различного вида в ферромагнитных изделиях. Рассмотрен процесс контроля с его помощью чугунных гильз блока цилиндров дизельного двигателя, а также результаты эксплуатации дефектоскопа на Минском моторном заводе, где с его помощью осуществляется 100 % контроль изготавливаемых гильз.

Presents data of the operating principle of eddy current defectoscope type NT-8, containing sixteen superimpose transducers and designed for detection of defects various types in ferromagnetic machine elements. Described the process of control with help the defectoscope of iron cylinder liners and results of exploitation of the defectoscope on the Minsk Engine Plant, where with its help is carried out 100 % control of manufactured liners.

Для дефектоскопии гильз блока цилиндров дизельного двигателя на ОАО «Минский моторный завод» (ММЗ) в лаборатории электромагнетизма ИПФ НАН Беларуси был разработан вихретоковый дефектоскоп (типа НТ-8), имеющий набор накладных вихретоковых преобразователей. В настоящей статье рассмотрены принцип его работы и результаты практического применения.

Основные требования, предъявляемые к дефектоскопу при его разработке, состояли в следующем. Обеспечение обнаружения всевозможных дефектов сплошности материала гильзы блока цилиндров, таких как трещины, раковины, поры, расположенных как на внутренней, так и на наружной поверхностях гильзы. Относительно высокая производительность дефектоскопа – время непосредственного контроля одной гильзы не должно превышать 13 секунд (без учета времени установки гильзы в отсек контроля дефектоскопа и последующего ее извлечения). Автоматизация процесса контроля, а также возможность работы на нем контролеров завода без специальной подготовки, обучения. Контроль поводится после завершения всего цикла механической обработки гильзы.

В качестве метода контроля был выбран вихретоковый с накладными преобразователями трансформаторного типа. Внутренняя поверхность гильзы после хонингования имеет относительно низкую шероховатость, наружная же поверхность подвергается только грубой механической обработке. Для контроля внутренней поверхности гильзы возможно применение как контактных, так и бесконтактных накладных преобразователей, контроль наружной поверхности возможно осуществлять только при помощи бесконтактных преобразователей. Всего в дефектоскопе используется 16 накладных преобразователей – 8 применяются для контроля внутренней поверхности гильзы блока цилиндров и столько же для контроля наружной поверхности. Каждый преобразователь имеет свой независимый электронный канал, обеспечивающий ток возбуждения этого преобразователя и анализ его вторичной э.д.с. с целью определения момента времени, когда под преобразователем находится дефект сплошности материала гильзы. Внешний вид электронного блока дефектоскопа с двумя держателями, в которых закреплены накладные вихретоковые преобразователи, показан на рисунке 1.

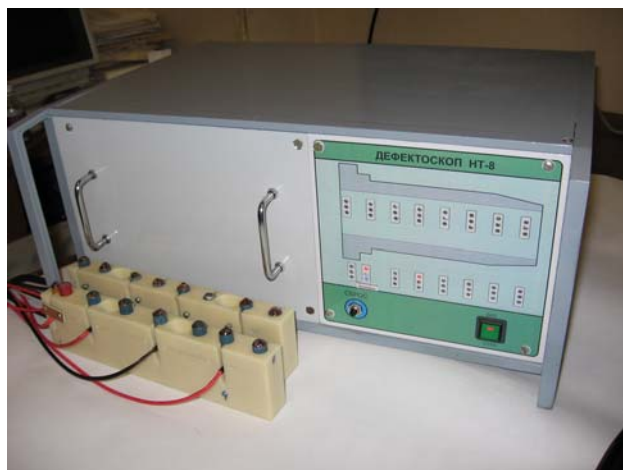


Рис. 1. Электронный блок дефектоскопа с двумя держателями, в которых размещены накладные преобразователи.

Принцип действия дефектоскопа

Принцип действия дефектоскопа основан на модуляционном (или динамическом) способе контроля [1-2]. Его характерной особенностью является относительное перемещение вихретокового преобразователя и контролируемого изделия, чаще всего с постоянной линейной скоростью. В разработанном дефектоскопе в качестве информационного сигнала используется амплитуда выходной э.д.с. накладного вихретокового преобразователя. При взаимном перемещении накладного преобразователя и контролируемого изделия при попадании дефекта сплошности в область под преобразователем изменяется амплитуда его выходной э.д.с. При постоянной скорости относительного перемещения накладного преобразователя и контролируемого изделия указанная амплитуда зависит также от зазора между преобразователем и поверхностью изделия, а также от его электрических и магнитных параметров, в первую очередь таких, как удельная электрическая проводимость и магнитная проницаемость.

Как показали исследования, наибольшую сложность при контроле гильз блока цилиндров, изготавливаемых из высокопрочного чугуна, представляет разделение сигналов в

измерительной цепи дефектоскопа, возникающих из-за присутствия дефектов сплошности контролируемого изделия и из-за непостоянства электромагнитных параметров его материала при перемещении накладного преобразователя вдоль контролируемой поверхности.

Для уменьшения влияния непостоянства зазора между накладным преобразователем и контролируемой поверхностью применяется два способа. При контроле внутренней поверхности гильзы блока цилиндров, то есть при малой шероховатости этой поверхности, используются контактные подпружиненные накладные преобразователи. Их контактная поверхность выполнена из износостойкой к истиранию керамики, толщина такой керамики около 1 мм. Кроме этого, контроль гильз дефектоскопом проводится до операции мойки, поэтому на ее поверхности имеются остатки охлаждающей жидкости (применявшейся при механической обработке гильзы), что уменьшает трение между контактным преобразователем и контролируемой поверхностью. При контроле наружной поверхности гильзы применяются бесконтактные преобразователи. Для уменьшения влияния непостоянства зазора между накладным преобразователем дефектоскопа и контролируемой поверхностью он сделан относительно большим (около 3 мм) [3]. Для обеспечения требуемой чувствительности к мелким дефектам обмотки преобразователя включены в резонансные колебательные контура.

Для разделения сигналов, формирующихся от дефектов сплошности материала контролируемого изделия и от различных мешающих факторов, при динамическом способе вихретоковой дефектоскопии общепринятым является применение частотных фильтров различного типа, установленных после амплитудного детектора, на который поступает вторичный сигнал преобразователя [1-2]. Это обусловлено тем, что в большинстве случаев частотный спектр импульсов (на выходе амплитудного детектора), соответствующих дефектам сплошности, отличается от спектра

импульсов, вызванных влиянием мешающих факторов. Обычно дефектам сплошности как локальным резким изменениям однородности материала соответствуют на выходе амплитудного детектора импульсы с более крутыми фронтами и с меньшей длительностью по сравнению с теми, которые формируются при перемещении преобразователя над участками, где наблюдаются неоднородности в распределении электромагнитных параметров материала контролируемого изделия (так как обычно электромагнитные параметры изменяются более плавно). Соответственно частотный спектр сигналов, возникающих от дефектов и от структурных неоднородностей материала контролируемого изделия (что приводит к вариациям его электромагнитных параметров), различаются – в последнем случае в указанном сигнале преобладают низкочастотные составляющие частотного спектра. Установкой фильтра верхних частот удалось достичь существенного повышения отношения (сигнал от дефекта)/ (сигнал от структурных неоднородностей). После фильтра верхних частот производится дальнейшее разделение сигналов от дефектов сплошности и от структурных неоднородностей с применением микропроцессора на основе алгоритма, выведенного на основании экспериментальных исследований. В результате удалось практически полностью устранить так называемые ложные срабатывания дефектоскопа, когда дефектоскоп срабатывает не от дефекта сплошности материала контролируемого изделия, а от сигнала, вызванного каким-либо мешающим фактором.

Процесс контроля

Процесс контроля при помощи дефектоскопа НТ-8 полностью автоматизирован. После установки гильзы в отсек контроля дефектоскопа, как показано на рисунке 2, закрываются защитные створки, гильза приближается к накладным преобразователям и приводится во вращение. В процессе поворота гильзы на угол примерно равный 380° накладные преобразователи сканируют ее

наружную и внутреннюю поверхности. При обнаружении под любым из 16-ти накладных преобразователей дефекта сплошности



Рис. 2. Гильза блока цилиндров, установленная в отсек контроля дефектоскопа

материала гильзы ее вращение прекращается, защитные створки открываются, а на передней панели электронного блока, на котором схематически изображена гильза блока цилиндров и контролируемые ее преобразователи (рис. 1), загорается световой индикатор красного цвета, показывающий, под каким преобразователем обнаружен дефект. Если дефекты отсутствуют, то после завершения цикла контроля вращение гильзы прекращается, защитные створки отсека контроля открываются и оператор заменяет гильзу на новую.

При обнаружении дефектоскопом дефекта оператор по световому индикатору на передней панели электронного блока определяет примерное место его расположения, после чего отмечает мелом и осматривает это место. Как показал опыт эксплуатации дефектоскопа, в большинстве случаев (примерно в пределах от 60 до 80 процентов от общего числа забракованных дефектоскопом гильз) дефект может быть обнаружен визуально. Он отмечается краской. Если дефект визуально не обнаруживается, то для уточнения его местоположения нами был изготовлен портативный вихретоковый

дефектоскоп (типа НТ-6) с накладным преобразователем карандашного типа. С его помощью контролер, проводя ручную сканирование отмеченного участка гильзы, определяет точное местоположение дефекта и его протяженность.

Опыт эксплуатации дефектоскопа на ММЗ

С помощью вихретокового дефектоскопа НТ-8 на ММЗ с 2009 года проводится 100% контроль гильз блока цилиндров. Рассмотрим, какие дефекты им обнаруживаются на практике. В большинстве случаев это трещины, распространяющиеся в направлении, близком к продольной оси гильзы блока цилиндров. Трещины бывают различной глубины, часто они сквозные. В большинстве случаев такие трещины расположены у торцевых поверхностей гильзы, где достигается их максимально раскрытие. Пример такой видимой трещины приведен на рисунке 3.

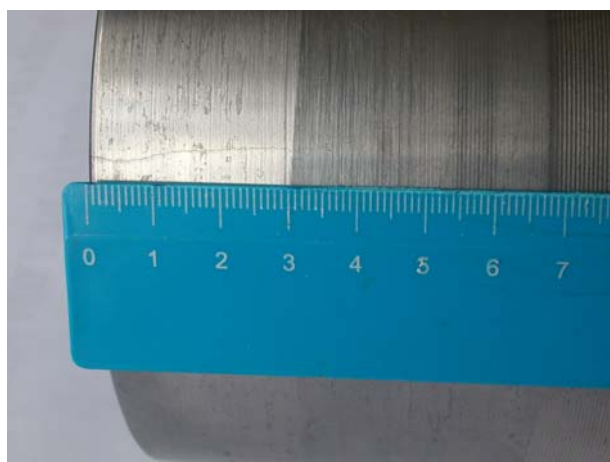


Рис. 3. Трещина на конусной части гильзы

Довольно часто также обнаруживаются такие дефекты литья (заготовки гильз изготавливаются в центробежных литейных машинах) как раковины. Обычно они видны при визуальном осмотре гильзы.

Иногда обнаруживаются гильзы, в которых имеются скопления пор, что также фиксируется дефектоскопом как дефект. Обычно такие

скопления расположены на внутренней поверхности гильзы под буртом. Чаще всего поры расположены вблизи поверхности гильзы, то есть это подповерхностные дефекты, не обнаруживаемые при визуальном осмотре. Пример такого скопления пор, после удаления поверхностного слоя толщиной 0,15 мм, приведен на рисунке 4. Протяженность показанного скопления пор примерно 10 мм.



Рис. 4. Скопление пор

Все сказанное выше относится к 15-ти внутренним накладным преобразователям из 16-ти, используемых в дефектоскопе НТ-8. Указанные 15 преобразователей являются абсолютными. Следует отметить, что в процессе вращения гильзы накладные преобразователи остаются неподвижными, в результате траектория сканирования представляет на поверхности гильзы окружность. При этом не будут регистрироваться дефекты, проходящие при вращении гильзы между накладными преобразователями, расстояние между которыми составляет около 28 мм. Отметим, что с 2006 года на ММЗ эксплуатировался вихретоковый дефектоскоп типа НТ-7, сходный по характеристикам с дефектоскопом НТ-8 и также разработанный в нашей лаборатории, но который содержал 9 накладных преобразователей. Для увеличения контролируемой площади гильзы и был разработан затем дефектоскоп НТ-8, содержащий 16 накладных преобразователей. Можно сказать, что в настоящее время у

предприятия не возникает потребности в увеличении площади контролируемой поверхности гильзы.

Последний, шестнадцатый по счету, накладной преобразователь в дефектоскопе НТ-8 – дифференциальный. Он расположен с наружной стороны гильзы и предназначен для обнаружения так называемых кольцевых дефектов под буртом. Такие дефекты не могут быть обнаружены динамическим способом контроля – накладной преобразователь не может их пересекать в процессе вращения гильзы, так как кольцевой дефект расположен в плоскости, перпендикулярной продольной оси контролируемой гильзы блока цилиндров. В такой же плоскости расположена и траектория, по которой проводится сканирование поверхности гильзы накладными преобразователями дефектоскопа. Как показала практика, именно под буртом гильзы в большинстве случаев возникают кольцевые дефекты, поэтому там и расположили дифференциальный преобразователь.

После внедрения дефектоскопа НТ-8 существенно снизилось число рекламаций по поводу поломки гильз блока цилиндров. В качестве примера приведем такие данные: в 2010 году дефектоскопом отбраковано из-за наличия дефектов около 0,5% от общего числа проконтролированных гильз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорофеев, А.Л. Вихревые токи / А.Л. Дорофеев. – М.: “Энергия”, 1977. – 72 с.
2. Герасимов, В.Г. Неразрушающий контроль. Книга 3. Электромагнитный контроль / В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, В.В. Сухоруков: – М.:Высш. шк., 1992. – 312 с.
3. Чернышев А.В. Вихретоковый дефектоскоп для контроля гильз цилиндров дизельного двигателя / А.В. Чернышев, И.Е. Загорский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16-17 апреля 2009 г.: в 3 ч. / Белорусско-Российский ун-т; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2009. – Ч.2. - С. 280-281.

Статья поступила в редакцию 05.08.11

О метрологическом статусе образцов для ультразвукового неразрушающего контроля

В.В. Федоров

*ведущий инженер производственно-исследовательского отдела
радиоэлектронных измерений БелГИМ*

Образцы, применяющиеся в ультразвуковом неразрушающем контроле, в зависимости от области применения можно разделить на две основных группы. Первая группа предназначена для настройки приборов при выпуске их из производства и ремонта, а также поверки (калибровки). По своей сути эти образцы являются имитаторами, образцовыми мерами, отражающими определенные свойства ультразвуковых приборов. Вторая группа образцов предназначена для настройки прибора на решение конкретной задачи неразрушающего контроля. Их материально-технической реализацией являются контрольные образцы **конкретного** вида продукции предприятий. Настройка прибора при выпуске его из производства (поверке) носит условный характер и обеспечивает взаимосвязь между информативными параметрами и контролируемыми признаками качества. При последующей настройке прибора при помощи образцов второй группы обеспечивается взаимосвязь между контролируемыми признаками качества и эксплуатационными свойствами объекта контроля, и универсальный прибор ультразвукового контроля становится специализированным, но с более высокими метрологическими характеристиками. Настройка приборов на образцах первой группы обеспечивает единообразие СНК, последующая настройка на образцах второй группы – достаточную достоверность информации о качестве конкретной продукции. Таким образом, образцы первой группы гарантируют возможность применения средств (проверен диапазон измерений, погрешность, чувствительность, работоспособность и т.д.), а образцы второй группы эту возможность превращают в действительность.

В качестве образцов первой группы используются комплекты мер дефектов КМД 1-0, КМД 2-0, КМД 4-0, комплект ультразвуковых мер толщины КМТ-176М1 и комплект ультразвуковых стандартных образцов толщины КУСОТ-180.

Образцы второй группы представляют собой блоки, изготовленные из материала контролируемого объекта, с заданной формой и размерами, которые дополнительно могут содержать разного рода несплошности, имитирующие реальные дефекты. В подавляющем большинстве случаев эти образцы не кодифицированы и не имеют специального обозначения. В нормативной и технической литературе они чаще всего именуется СОП (стандартные образцы предприятий).

Промежуточное положение занимает широко распространенный комплект контрольных образцов и вспомогательных устройств КОУ-2, который используется как в качестве образцов первой группы, так и второй.

Если проанализировать нормативную и техническую литературу, относящуюся к ультразвуковому контролю, то сразу бросается в глаза отсутствие единообразия в наименовании образцов. Применяются термины «стандартный образец», «контрольный образец», «тест-образец», «эталонный образец», «эталон», «образец чувствительности», причем зачастую один и тот же тип образцов может именоваться по-разному. Комплект КМД 4-0 фигурирует и в качестве «комплекта мер дефектов» и «комплекта отраслевых стандартных образцов». Образцы из комплекта КОУ-2 называются то «контрольный образец № 1 (2,3,4)», то «стандартный образец (СО-1 (2,3,4))». Идентичные по геометрическим параметрам и способу применения комплекты КМТ-176 М1 и КУСОТ-180 именуется в первом случае комплектом мер толщины, во втором – комплектом стандартных образцов толщины и т.д. Важным моментом здесь является то, что если наименование «стандартный образец» сразу предопределяет метрологический статус образцов в системе видов средств измерения (мера, измерительный преобразователь, измерительный прибор, стандарт-

ный образец и т.д.), то все остальные названия никакой информации о метрологическом статусе образца не несут, и отнесение их к одному из видов СИ требует знания конструкции образца. Но, с другой стороны, во всей нормативной и технической литературе в области ультразвукового неразрушающего контроля термин «стандартный образец» всегда употребляется обособленно, сам по себе, не конкретизируя тех свойств (состава) материала, который он должен стандартизировать. В таком случае, правомерно ли вообще называть такие образцы стандартными образцами?

Некогда закрепившееся ошибочное наименование «стандартные образцы» было подкреплено довольно расплывчатым определением СО, которое приводилось в прежних редакциях ГОСТ 8.315 и в таком виде перешедшее в СТБ 8005 редакции 1994 года:

Стандартный образец состава и свойств веществ и материалов – средство измерений в виде вещества (материала), состав и свойства которого установлены аттестацией.

Данное определение постулирует два основных факта:

- 1) стандартный образец - это средство измерений;
- 2) отличительным признаком стандартного образца является предварительная аттестация, устанавливающая количественное значение свойств или состава материала.

В данном определении отсутствуют указания о том, характеризуется ли физическая величина или физический процесс, а также относится ли это определение к составу или свойствам конкретного материала.

Таким образом, отнесение образцов, применяющихся в неразрушающем контроле, к стандартным образцам было в определенной степени правомерным.

В новой редакции ГОСТ 8.315-97 и разработанном в его развитие СТБ 8005-2000 приводится уже принципиально новое определение стандартного образца:

Стандартный образец состава или свойств вещества (материала); СО – средство измерений в виде определенного количества вещества или материала, предназначенное для воспроизведения и хранения размеров величин, характеризующих состав или свойства этого вещества (материала), значения которых установлены в результате метрологической аттестации, используемое для передачи размера единицы при поверке, калибровке, градуировке средств измерений, аттестации методик выполнения измерений и утвержденное в качестве стандартного образца в установленном порядке.

Если рассмотреть какой-нибудь образец, применяющийся в ультразвуковом контроле, в части нормирования и определения его характеристик, то здесь выделяется две группы – геометрические (размер, форма, глубина залегания искусственного отражателя и его размеры) и акустические (скорость и затухание ультразвуковых колебаний). Геометрические характеристики являются универсальными и не могут характеризовать состав или свойства материала, в отличие от акустических. Но для образцов, применяющихся в неразрушающем контроле, акустические характеристики не нормируются для **конкретного** материала, что является обязательным требованием вышеприведенного определения. Затухание можно вообще исключить из рассмотрения, ибо это – физический процесс, а не физическая величина. Что касается скорости, то знание ее значения нужно не для идентификации материала образца – образец может быть изготовлен из любого материала, лишь бы скорость в нем соответствовала решаемым задачам. Выбор марки материала для изготовления образцов в требуемом диапазоне скоростей определяется в первую очередь технологичностью этого материала. Например, образцы КМД 4-0 согласно ТУ должны изготавливаться из стали марки 40Х13, однако выбор этой марки объясняется не тем, что для поверки ультразвуковых приборов требуется именно такой материал (как в случае с иными стандартными образцами), а тем, что это – нержавеющая сталь, с одной стороны, она доступна, с другой – хорошо поддается термической и механической обработке. С метрологической точки зрения комплект

КМД 4-0 может быть изготовлен из любой низко- или среднеуглеродистой стали с диапазоном скоростей ультразвука 5900-6200 м/с.

Таким образом, видно, что образцы, применяющиеся в ультразвуковом контроле, лишены главных свойств стандартных образцов, указанных в вышеприведенном определении:

1) они не воспроизводят (или хранят) свойства (состав) **данного** вещества, поскольку выбор их материала определяется в первую очередь технологичностью материала, марка которого может быть любой, обеспечивающей требуемый диапазон скоростей;

2) они не передают значение аттестованной величины (размер единицы физической величины) нижестоящим средствам;

3) если рассмотреть определение комплекта СО, поскольку большинство образцов в неразрушающем контроле используется в виде комплектов (*комплект стандартных образцов – стандартный образец в виде совокупности нескольких (более двух) экземпляров, поставляемых и применяемых совместно, имеющих разные аттестованные значения одной и той же величины, упорядоченные в пределах определенного диапазона ее значений, поставляемых потребителю вместе с паспортом комплекта стандартных образцов*), то видно, что используемые комплекты не соответствуют и этому определению – аттестуемая величина в комплекте образцов остается постоянной для каждого образца в комплекте (скорость ультразвука), а меняются геометрические размеры образцов в комплекте, по которым образец нельзя характеризовать в качестве стандартного образца.

Каким же образом этот парадокс разрешается в стандартах, относящихся к области ультразвукового неразрушающего контроля? Естественно для этого обратиться к терминологическому ГОСТ 23829-85. Определение стандартного образца отнесено почему-то к разделу «Метрологическое обеспечение средств неразрушающего контроля». Само по себе оно стоит того, чтобы его привести:

Стандартный образец для средств акустического неразрушающего контроля - средство измерения в виде твердого тела, предназначенное для хранения и воспроизведения значений физических величин,

принятых в качестве единиц для измерения метрологических характеристик, отражающих показатели качества продукции в соответствии с назначением средств акустического неразрушающего контроля и физическим особенностями реализуемых ими методов.

Попытка как-то осмыслить это определение, если к чему-то и приводит, так только к выводу об отсутствии какой-либо практической пользы от его применения. Неудивительно, что авторы справочников, учебников и пособий по ультразвуковому контролю не пытались даже воспроизводить это определение. Само понятие образца для контроля приводилось как данность, к тому же на почве этой неопределенности родилась стихийная классификация «стандартных образцов». Вот как предлагает это делать традиционно считающийся самым авторитетным справочник [4]:

«Различают государственные СО (ГСО) и стандартные образцы предприятий (СОП).

ГСО предусмотрены стандартами, в которых указаны материал, из которого они изготовлены, их конструкция. Эти образцы, как правило, применяют для проверки и настройки аппаратуры при контроле широкого ассортимента продукции.

СОП рекомендованы ведомственными нормативно-техническими документами или НТД предприятий. Они предназначены для проверки и настройки аппаратуры при контроле определенного вида продукции, где ГСО неприменимы (например, при контроле изделий с большой кривизной поверхности) или где применение СОП технически более удобно».

Эта классификация кочует из книги в книгу, хотя ошибочность ее следует из того, что требования к типичным СОП приводятся в государственных стандартах, а типичные ГСО вроде известного комплекта КОУ-2 вовсе не идентичны образцам по ГОСТ 14782, да и сами называются контрольными образцами. Очевидно необходимое разделение образцов на две группы проводится по совершенно не относящимся к делу признакам.

Неясность метрологического статуса образцов приводит к существенным затруднениям при обеспечении образцов метрологическим контролем. Сложилась парадоксальная ситуация – тысячи образцов, используемых для настройки ультразвуковых приборов неразрушающего контроля, лишены какой-либо формы метрологического контроля как на этапе производства, так и в эксплуатации, вследствие неопределенности их статуса.

Таким образом, давно назрела необходимость пересмотра и внедрения новой терминологии для образцов, применяющихся в неразрушающем контроле вообще и ультразвуковом методе контроля в частности.

С 1 января 2010 года постановлением Госстандарта Республики Беларусь введен в действие в качестве государственного стандарта Республики Беларусь межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 5577-2009 «Контроль неразрушающий ультразвуковой. Словарь». Стандарт идентичен международному стандарту ISO 5577:2000 «Non-destructive testing. Ultrasonic inspection. Vocabulary», разработанному подкомитетом «Акустические методы» технического комитета по стандартизации ТК 135 «Неразрушающий контроль». Данный стандарт устанавливает термины с соответствующими определениями, применяемые в области ультразвукового неразрушающего контроля.

Стандарт подготовлен специалистами БелГИМ в рамках Программы работ по стандартизации, метрологии и оценке соответствия в области неразрушающего контроля, задания которой формируются Рабочей группой по неразрушающему контролю Научно-технической комиссии по метрологии МГС* в рамках развития системы стандартов в области неразрушающего контроля, гармонизации национальных стандартов с международными и европейскими стандартами.

Стандарт содержит 142 термина, относящихся к методам и средствам ультразвукового неразрушающего контроля, причем сами термины приводятся на трех языках – русском, английском и француз-

* Отчеты о заседаниях Рабочей группы регулярно публикуются на страницах настоящего журнала.

ском. Для сравнения, в сильно устаревшем ГОСТ 23829-85 содержится 93 термина, из которых переведены на английский язык только 16.

Отдельный раздел ГОСТ ИСО 5577 посвящен образцам для неразрушающего контроля. Данный стандарт отражает установившуюся практику разделения образцов на две группы. Первая группа образцов носит название калибровочных образцов (прямой перевод английского термина *calibration block*). Кроме того, дан перевод синонимичного английского названия *standard test block* – эталонный образец. Определение этого термина следующее:

Калибровочный образец; эталонный образец - образец из материала определенного состава с заданными чистотой обработки поверхности, термообработкой, геометрической формой и размерами, предназначенный для калибровки и оценки параметров ультразвукового прибора неразрушающего контроля.

Калибровочные образцы можно разделить на две подгруппы. К первой подгруппе относятся образцы, предназначенные для периодической поверки и калибровки ультразвуковых приборов неразрушающего контроля и находящиеся в поверочных и калибровочных лабораториях. К этой подгруппе относятся следующие комплекты образцов:

- 1) КМД 2-0 и КМД 4-0, предназначенные для ультразвуковых дефектоскопов;
- 2) КМТ-176М-1 и КУСОТ-180, предназначенные для ультразвуковых толщиномеров;
- 3) КМД 19-0, предназначенные для ультразвуковых структуроскопов.

Ко второй подгруппе относятся образцы, которые в основном применяются в лабораториях неразрушающего контроля для периодической проверки параметров и настройки приборов. В настоящее время практическое применение находит только комплект КОУ-2, состоящий из четырех образцов. В перспективе, в связи с расширением международного сотрудничества и гармонизации отечественных

стандартов с международными, планируется широкое внедрение в практику также образцов, разработанных и рекомендованных Международным институтом сварки. Национальный стандарт на калибровочный образец № 1 уже введен в действие [7], подготовлен проект стандарта на основе международного стандарта ISO 7693, регламентирующего требования к калибровочному образцу № 2.

Образцы, ранее известные как СОПы (стандартные образцы предприятия), получили теперь новое наименование:

Контрольный образец - образец, изготовленный из материала, аналогичного материалу объекта контроля, содержащий четко определенные отражатели; используется для настройки амплитудной и (или) временной шкалы ультразвукового прибора путем сравнения показаний от выявленных несплошностей с показаниями, полученными от известных отражателей.

Самое важное в данном определении – акцент на том, что данный тип образцов изготавливается из материала объекта контроля (или аналогичного ему). Данный термин объединяет все многообразие образцов, находящихся в лабораториях неразрушающего контроля, которые применяются для настройки ультразвуковых дефектоскопов, толщиномеров и структуроскопов (слово «**контрольный**» в наименовании образца как раз и означает принадлежность к области неразрушающего **контроля**).

Из новых определений калибровочного и контрольного образцов, а также из их назначения, следует, что эти образцы являются мерами.

Мера физической величины; мера величины; мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения

которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью [8].

Здесь только следует иметь в виду, что контрольные (и калибровочные) образцы хранят и воспроизводят линейные единицы (размеры дефекта, расстояние до него и т.п.) через акустические единицы. Следовательно, помимо линейных, аттестации подлежат в обязательном порядке и акустические характеристики. Подробнее о системе метрологического обеспечения образцов, применяющихся в ультразвуковом неразрушающем контроле, будет рассказано в одном из ближайших номеров.

Литература

1. ГОСТ 8.315-97 «ГСИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения».
2. СТБ 8005-2000 «СОЕИ. Стандартные образцы. Основные положения».
3. ГОСТ 23829-85 «Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения».
4. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общей редакцией В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге – М.: Машиностроение, 2004.
5. ГОСТ 14782-86 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые».
6. ГОСТ ИСО 5577-2009 «Контроль неразрушающий ультразвуковой. Словарь».
7. СТБ EN 12223-2010 «Контроль неразрушающий. Ультразвуковой метод. Калибровочный образец № 1. Технические требования».
8. Основные термины метрологии: русско-белорусский словарь-справочник/ Ю.М. Плескачевский [и др.]; под общей редакцией Ю.М. Плескачевского. – Мн.: БелГИМ, 2007.

Статья поступила в редакцию 01.08.11

Белорусская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики.

Этапы становления и развития

С.А. Попоудина

Вице-председатель БАНК и ТД

15 сентября 2011 г. исполняется 18 лет, как была зарегистрирована Белорусская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики (БАНК и ТД) в Министерстве юстиции Республики Беларусь, как Республиканское общественное объединение. Это событие стоит в ряду других важных событий в жизни специалистов и учреждений, занимающихся проблемами контроля качества промышленной продукции.

Белорусская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики (БАНК и ТД) – научно-техническое республиканское общественное объединение ученых инженерно-технических работников, занимающихся развитием и применением различных видов и методов неразрушающего контроля и технической диагностики для контроля качества промышленного оборудования, материалов, изделий, конструкций и сооружений. Всего членов Ассоциации – 81 специалист.

БАНК и ТД является членом Международного комитета по неразрушающему контролю – ICNDT. ICNDT был основан в 1960 г. БАНК и ТД была принята в члены ICNDT во время 14-ой Международной конференции по НК в декабре 1996 г. в г. Дели. В 1998 г. Обществами по НК европейских стран учредителей была учреждена Европейская федерация по неразрушающему контролю (EFNDT), предшественником которой был Европейский комитет по неразрушающему контролю. Одним из учредителей EFNDT была БАНК и ТД.

Основные цели ассоциации:

- повышение качества, надежности, долговечности и безопасности продукции, выпускаемой и эксплуатируемой в Республике Беларусь;
- развитие международных контактов и сотрудничества, поиск заинтересованных партнеров в других странах, установление творческих связей между партнерами;
- широкий обмен научными и техническими идеями.

Основные направления деятельности:

- Содействие в вопросах разработки, изготовления, приобретения, внедрения и сервисного обслуживания современных средств неразрушающего контроля и диагностики;
- Участие в работах по стандартизации, содействие в гармонизации государственных ТНПА в области НК и ТД с Европейскими нормами и международными стандартами;
- Оказание консультативной помощи специалистам лабораторий НК и ТД;
- Научно-методическое руководство сертификацией персонала;
- Организация выставок, научных конференций, симпозиумов, совещаний, лекций.
- Информационная деятельность в области НК и ТД.

Деятельность Ассоциации направлена на дальнейшее развитие методов и средств НК и ТД, новых направлений работ в области НК, оказание научно-методической и практической помощи специалистам, организациям, предприятиям и лабораториям, которые проводят работы в области неразрушающего контроля и технической диагностики промышленной продукции и потенциально опасных объектов. Основные направления работ в области неразрушающего контроля в Республике Беларусь развивались в соответствии с политикой, проводимой нашей Республикой, ICNDT и EFNDT.

Ассоциация проводит работы, направленные на взаимное сотрудничество предприятий и специалистов по всем направлениям в

области НК, ибо только совместными усилиями можно эффективно решать вопросы повышения контроля качества через дальнейшее развитие и применение как традиционных методов и средств НК, так и современных интеллектуализированных.

Руководящий орган Ассоциации – Правление. К настоящему времени в состав Правления входит 15 ведущих специалистов в области НК. В Ассоциации созданы 2 комитета:

- комитет по обучению, возглавляемый Сергеевым С.С., зав. кафедрой ФМК БРУ г. Могилев;

- процедурный комитет, возглавляемый Залого В.Е., директором ООО «Допох-Сервис» г. Минск.

Основная задача комитета по обучению – дальнейшее совершенствование и развития процесса подготовки персонала по НК для целей сертификации, экспертиза программ подготовки персонала по НК.

Основная задача процедурного комитета – разработка процедур и схем сертификации в различных производственных секторах.

Содействие в вопросах разработки, изготовления, внедрения, приобретения и сервисного обслуживания современных средств неразрушающего контроля и диагностики позволяет лабораториям неразрушающего контроля, предприятиям и организациям повысить качество промышленной продукции, потенциально опасных объектов, объектов стройиндустрии через применение современных приборов нового поколения, в том числе и интеллектуализированных, за счет повышения достоверности и объективности контроля.

Переоснащение лабораторий неразрушающего контроля средствами неразрушающего контроля (СНК) и их разнообразие обеспечивается постоянной работой Белорусской ассоциации неразрушающего контроля и технической диагностики, которая инициировала внесение в реестр СИ широкого спектра приборов производства России, Украины и Молдовы, что дает возможность белорусскому потребителю подобрать себе оптимальный прибор по области применения и финансовым возможностям.

По состоянию на 01.01.2011 г. внесено в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь СНГ, выпускающихся в Беларуси, странах СНГ и дальнего зарубежья, 62 прибора.

Начиная с 1993 г. БАНК и ТД инициировала такое направление деятельности в области неразрушающего контроля как сертификация персонала. С этого времени в Республике Беларусь начинают разворачиваться работы по созданию единой системы подготовки и сертификации персонала НК по научно-методическим руководствам БАНК и ТД в соответствии с европейским стандартом EN 473 «Квалификация и сертификация персонала в области НК. Общие принципы». В 1997 г. Орган по сертификации персонала «Профсертико», который Проматомнадзор МЧС РБ уполномочил проводить сертификацию персонала в области НК, был зарегистрирован в EFNDT.

В 1997 г. БАНК и ТД подписала Многосторонний договор MRA о взаимном признании Систем/схем, сертификатов по сертификации персонала в области НК в рамках EFNDT.

Подписание такого договора вызвало необходимость создание системы сертификации персонала по НК. Эти работы включали: создание и аккредитацию Органа по сертификации персонала в Республики Беларусь, сети учебных центров по различным методам НК с целью подготовки к сертификации, введение Европейского стандарта EN473-92 «Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля. Общие требования» в качестве государственного с целью приведения национальных требований к уровню квалификации к единым европейским требованиям. БАНК и ТД подготовила к введению указанный стандарт.

С 2002 г. Орган по сертификации персонала «Профсертико» вошел в структуру Белорусского государственного института повышения квалификации и переподготовки кадров по стандартизации, метрологии и управлению качеством.

Нотифицированный орган ЕС, представленный Исследовательским институтом сварки – промышленный институт Словацкой Республики, провел в 2005 г. аудит вышеуказанного органа по сертифи-

кации. По результатам аудита нотифицированный орган Словацкого института сварки подписал с БГИПК по стандартизации, метрологии и управлению качеством соглашение о признании экзаменационного центра ОСП и его возможности проведения сертификации персонала по НК на соответствие требованиям директивы 97\23\ЕС «Безопасность оборудования работающего под давлением».

В период с 01.03.2004 г. по 01.01.2001 г. в Республике Беларусь сертифицировано 7320 специалистов по различным методам НК.

Развитие и постоянное совершенствование работ по сертификации персонала НК в Республике Беларусь позволило:

- применять единые формы и правила оценки соответствия уровня квалификации специалистов по НК;
- гармонизировать процедуры оценки соответствия профессиональной компетентности персонала с европейскими для обеспечения признания схем/сертификатов в области НК на международном уровне;
- повысить уровень профессионализма через углубление технических знаний и совершенствование практических навыков;
- повысить качество и надежность неразрушающего контроля промышленного оборудования и потенциально опасных объектов и таким образом уменьшить потерю ресурсов за счет снижения выпуска недоброкачественной продукции и снизить риск предприятия при эксплуатации объектов повышенной опасности;
- обеспечить конкурентоспособность продукции предприятий Республики Беларусь на внутреннем и внешнем рынках;
- обеспечить подтверждение технической компетентности лабораторий при проведении контроля качества неразрушающими методами.

Всемирный комитет по неразрушающему контролю ICNDT высоко оценил вклад БАНК и ТД в международную сертификацию персонала по НК и наградил в 2008 году в номинации премией Хаверкрофта «Признание выдающего вклада в международную сертифика-

цию в области НК» специалистов Никифорову З.С., Попоудину С.А., Левкович В.В., Зиновьеву С.И.

Дипломы были вручены на 17-ой Всемирной конференции по НК в октябре 2008 года в г. Шанхай.

Информационная деятельность в области НК и ТД строится на организации выставок, научных конференций, лекций, оказание консультативной помощи специалистам лабораторий НК и ТД. Во время этих мероприятий специалисты знакомятся с новыми технологиями контроля качества неразрушающими методами, получают рекомендации по использованию приборов нового поколения и современных методов, обмениваются опытом.

Информационная деятельность в области НК и ТД является предпосылкой обеспечения высокой надежности различных объектов контроля на всех этапах, от производства до их эксплуатации. За весь период деятельности Ассоциации было проведено 75 семинаров по актуальным вопросам НК и ТД с одновременной демонстрацией приборов, издано 70 Информационных бюллетеней.

Международная деятельность БАНК и ТД осуществляется путем участия в международных конференциях с докладами, в заседаниях генеральных ассамблей ICNDT, EFNDT.

Было проведено четыре Республиканских конкурса дефектоскопистов. Целью этих конкурсов было повышение уровня подготовки и обмен опытом специалистов в области НК.

МЕРОПРИЯТИЯ, СОБЫТИЯ, ДАТЫ В МИРЕ НК:

21 апреля 1993 г.	Учредительное собрание по созданию БАНК и ТД.
Май 1993 г.	БАНК и ТД принята в Европейский Совет по НК (ЕСNDT).
15 сентября 1993 г.	БАНК и ТД зарегистрирована в Министерстве юстиции Республики Беларусь.
1994 г.	Инженерный центр «СЕРТИКО» аккредитован как Орган по сертификации персонала немецким обществом по аккредитации TGA. Система сертификации персонала БАНК и ТД зарегистрирована в EFNDT.

1993-1995 гг.	Разработана нормативная база по аккредитации лабораторий НК и ТД в рамках Системы аккредитации поверочных и испытательных лабораторий Республики Беларусь. Начаты работы по аккредитации лабораторий НК и ТД в связи с введением в Беларуси Системы аккредитации поверочных и испытательных лабораторий.
1993-1998 гг.	Создана сеть учебных центров для подготовки специалистов по НК.
Октябрь 1995 г., ноябрь 1998 г.	Проведены 1-ая и 2-ая Международные конференции «Компьютерные методы и обратные задачи в НК и ТД» в г. Минске.
Март 1996 г.	Постановлением Коллегии Госстандарта Республики Беларусь одобрена «Концепция развития стандартизации, метрологии и сертификации в области НК», разработанная БАНК и ТД.
Апрель 1996 г.	Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) утвердил Межгосударственную программу работ в области НК. Инициатором и разработчиком этой программы была БАНК и ТД.
1996 г.	ОСП «Профсертико» аккредитован в качестве Органа по сертификации персонала в области НК в национальном органе по аккредитации Республики Беларусь (Госстандарте).
Декабрь 1996 г.	БАНК и ТД принята в Международный комитет по НК – ICNDT.
1996-1998 гг.	Проведены в г. Минске заседания Временной рабочей группы по НК при МГС. БАНК и ТД активный организатор этих заседаний.
1996-2001 гг.	Участие в работе Исполнительного комитета EFNDT по сертификации персонала в области НК.
1996-2010 гг.	Делегации БАНК и ТД принимали участие в Международных, Европейских и Национальных конференциях по НК.
Июнь 1997 г.	БАНК и ТД подписала Многосторонний договор MRA о взаимном признании Систем/схем, сертификатов по сертификации персонала в области НК в рамках EFNDT.

1999 г.	БАНК и ТД награждена Почетным Дипломом выставочной компанией «Белэкспо» за содействие развитию и применению в Республике Беларусь современных методов и средств НК.
2004 г.	По инициативе НП РУП «БелГИИС» и БАНК и ТД в соответствии с решением Госстандарта Республики Беларусь создан технический комитет № 10 «Техническая диагностика и неразрушающий контроль».
2004-2006 гг.	Проведены 1-ая и 2-ая Международные научно-технические конференции «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» в г. Могилеве.
Май 2005 г.	ОСП БГИПК по стандартизации метрологии и сертификации прошел аудит в Исследовательском институте сварки Словацкой Республики на право проведения сертификации персонала по НК согласно требованиям Директивы 97/23/ЕС
Май 2007 г.	Проведен первый республиканский конкурс «Лучший специалист неразрушающего контроля Республики Беларусь»
2008 г.	По инициативе БАНК и ТД и при ее активном участии РУП «БелГИСС» издал каталог ТНПА «Техническая диагностика и неразрушающий контроль».

Статья поступила в редакцию 05.08.11

КОНФЕРЕНЦИИ

Октябрь 2011

Международная выставка Aerospace Testing Russia 2011

Выставка пройдет с 4 по 6 октября 2011 г. в г. Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 7, зал 2.

Разделы выставки Aerospace Testing Russia представляют оборудование, системы и технологии для:

1. сбора и анализа, обработки и автоматизации промышленных данных;
2. контроля измерений и тестирования авиационной и аэрокосмической техники;
3. программного обеспечения и регулирования управления систем летательных аппаратов и комплексов;
4. неразрушающего контроля;
5. ремонта, обработки и защиты элементов и подсистем авиакосмической техники на этапе эксплуатации;
6. оказания услуг в области контроля и исследований.

Тел.: +7 (495) 935-81-20

Факс: +7 (495) 935-73-51

E-mail: *aero@ite-expo.ru*

10-я Международная специализированная выставка сварочных материалов, оборудования и технологий «WELDEX/РОССВАРКА-2011»

18-21 октября 2011 г., Москва, ЭЦ «Сокольники», павильон 4, 4.1.

Один из разделов выставки:

Контроль качества сварных соединений, основных и сварочных материалов:

- неразрушающий контроль;
- средства для механических испытаний сварных швов;
- системы регистрации и обработки параметров сварки;
- лабораторное оборудование.

Тел.: +7 (495) 935 8100

Факс: +7 (495) 935 8101

Internet: <http://www.weldex.ru/>

Ноябрь 2011

Сорок первая Международная конференция и выставка по неразрушающему контролю

9-11 ноября 2011 года, Острава, Чешская Республика

Основные темы конференции:

- Акустическая эмиссия;
- Магнитные и индуктивные методы;
- Рентгенография;
- Поверхностные и оптические методы;
- Томография;
- Ультразвуковые методы;
- Обнаружение течи;
- Неразрушающий контроль коррозионных процессов;
- Инновации в промышленном применении неразрушающего контроля;
- Промышленные стандарты и инновации;
- Функциональные и эксплуатационные испытания, надежность и обеспечение безопасности;
- Образование, стандартизация, сертификация и аккредитация;
- Применение неразрушающего контроля в энергетике, транспорте, машиностроении, строительстве, химической промышленности и т.д.

E-mail: cndt@cndt.cz

Факс: +420 541 143 231

URL: http://www.cndt.cz/nde_for_safety2011/

(См. 4 страницу обложки)

**WCNDT 2012 – 18-я международная выставка
и конференция по неразрушающему контролю**

18 – 20 апреля 2012, ЮАР, Дурбан

Отраслевая направленность конференции WCNDT:

Авиакосмическая, железнодорожная, автомобильная, судостроительная отрасли;

Нефтегазодобывающая, трубопроводная;

Архитектура и мостостроение;

Атомная промышленность, электроэнергетика;

Общая механика, материаловедение, производство и обработка;

Материалы (черные и цветные металлы, композиты, керамика, полимеры);

Горное машиностроение;

Сертификация, тренинг;

Химия, нефтехимия, котлостроение;

Обработка данных, сенсоры;

Комплексные (безопасность, защита от радиации, оценка срока службы);

Надежность систем контроля;

Стандартизация и др.

Методы неразрушающего контроля:

Радиографический (RT);

Ультразвуковой (UT);

Акустико-эмиссионный (AT);

Инфракрасный термографический (TT);

Капиллярный (LT);

Магнитно-порошковый (MT);

Проникающий (PT);

Индукционный (ET);

Визуальный (VT) и другие.

Тел: + 27 31 303 9852

Факс: + 27 31 303 9529

E-mail: nina@confco.co.za, deidre@confco.co.za

URL: <http://www.wcndt2012.org.za/>

(См. 4 страницу обложки)



Загорский Иван Евгеньевич

Zagorsky Ivan Evgenievich

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»,
научный сотрудник

Тел.: (+375 17) 284 23 50,

e-mail: lab5@iaph.bas-net.by



Матюк Владимир Федорович

Matyuk V.F.

доктор технических наук

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»,
заведующий лабораторией

Тел. +(375 17) 284 18 55,

e-mail: matyuk@iaph.bas-net.by



Осипов Александр Александрович

A.A. Osipov

кандидат технических наук

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»,
ведущий научный сотрудник

Тел.: +(375 17) 284 24 17,

e-mail: osipov@iaph.bas-net.by



Попоудина Светлана Андреевна

РОО «Белорусская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики»,

вице-председатель

Тел.: +(375 17) 205 48 61, +(375 29) 661 36 46



Федоров Владислав Викторович

Республиканское унитарное предприятие

«Белорусский государственный институт метрологии»,

ведущий инженер производственно-исследовательского отдела
радиоэлектронных измерений

E-mail: pozdeeva@belgim.by



Чернышев Алексей Всеволодович

Chernyshev Alexey Vsevolodovich

кандидат технических наук, доцент

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»,
заведующий лабораторией

Тел.: (+375 17) 284 23 50,

e-mail: lab5@iaph.bas-net.by

**Правила для авторов
научно-практического журнала
«Неразрушающий контроль и диагностика»**

Для публикации оригинальной статьи авторы должны представить в редакцию следующие материалы:

1. Авторское заявление с указанием контактной информации (в электронном и бумажном виде).

2. Направление от организации, в которой выполнялась работа (в бумажном виде на бланке организации). Направление не требуется, если работа выполнялась за рубежом.

3. Файл с текстом статьи в формате WinWord, а также в бумажном виде или в электронном в формате pdf. Если одновременно с русским текстом статьи по желанию авторов публикуется ее английский перевод, он представляется отдельно.

4. Файлы в формате WinWord с текстом аннотации на русском и английском языках. Перевод на английский язык осуществляется авторами. Каждая аннотация, кроме собственно текста, должна включать в себя заглавие статьи, фамилии и инициалы авторов, также на русском и английском языках.

5. Файл в формате WinWord, в котором следует указать информацию для Авторского указателя:

- на русском языке – сведения об авторах (фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, звание, должность, место работы, телефон, факс, адрес электронной почты и другая контактная информация по усмотрению автора);

- на английском языке – транслитерацию фамилий и имен авторов, а также название учреждений, где выполнялась работа.

6. Фотографии авторов в электронном виде для размещения в Авторском указателе. Фамилия автора должна входить в имя файла с фотографией.

Бумажные версии документов могут быть представлены в редакцию любым из следующих способов:

- отправлены по факсу редакции: **(+375 17) 284 17 40;**

- присланы обычной почтой или переданы непосредственно по адресу: 220072, г. Минск, ул. Академическая, 16, **Государственное предприятие «Диа-тех», редакция журнала «Неразрушающий контроль и диагностика».**

Электронные версии документов должны быть присланы в редакцию по электронной почте на адрес *info@science.by*.

К публикации в журнале «Неразрушающий контроль и диагностика» принимаются статьи, прошедшие рецензирование. Поступившая в редакцию рукопись направляется по выбору редакции на отзыв специалисту в данной области исследований. Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала на основании экспертных оценок рецензентов с учетом соответствия представленных материалов тематической направленности журнала, их научной значимости и актуальности. Рукопись, получившая отрицательные отзывы двух независимых рецензентов, решением редколлегии отклоняется.

Статьи должны быть написаны на русском (или английском) языке, отредактированы и оформлены в соответствии с нижеследующими требованиями.

Основной текст статьи

Каждая статья должна представлять собой файл, содержащий текст, набранный в редакторе WinWord, шрифт Cambria, кегль 14 пунктов, 1 интервал. При отсутствии инсталлированного шрифта Cambria допустимо использовать шрифт Times New Roman. Должен быть включен режим автоматического переноса.

Перед текстом статьи отдельной строкой в левом верхнем углу обязательно должен быть приведен код универсальной десятичной классификации (УДК) тематики статьи (шрифт – кегль 12).

Статья начинается с заголовка, который пишется строчными буквами полужирным шрифтом размером 16 пунктов. Далее следует список авторов в формате «фамилия, инициалы», который пишется полужирным шрифтом 14 пунктов. Имена авторов разделяются запятыми.

Текст аннотации в виде абзаца с выравниванием по ширине с отступами 12,5 мм справа и слева шрифтом 12 пунктов.

Страницы статьи не должны быть пронумерованы. Поля на странице должны быть: левое и правое – по 25 мм, верхнее – 30 мм, нижнее – 32 мм.

Графические иллюстрации

Таблицы, иллюстрации и подписи к ним размещаются в тексте статьи при первом их упоминании. При этом следует избегать использования опции «обтекание текста».

Таблицы снабжаются тематическими заголовками и нумеруются арабскими цифрами в порядке их упоминания в тексте. Все графы в таблицах должны иметь заголовки. Сокращение слов в таблицах не допускается. Все аббревиатуры должны быть расшифрованы в сносках к таблице.

Графики и схемы должны выполняться с помощью графического редактора CorelDraw. Использование графических средств Microsoft Office крайне нежелательно из-за частых искажений рисунков при верстке, преобразовании в pdf-формат и печати. Рисунки следует присылать в виде отдельных файлов с сохранением форматов, использованных для их создания. Недопустимо использовать при создании рисунков «волосяные» линии (1/4 пункта). Эти линии хорошо видны на экране монитора, но исчезают в печатной версии документа.

Фотографии представляются в виде отдельных файлов в форматах jpeg, tiff, bmp, png с разрешением 300-600 dpi.

Штриховые рисунки, выполненные от руки, должны быть отсканированы в режиме bitmap с разрешением не ниже 600 dpi и сохранены в формате tiff.

Формулы

Математические формулы набираются в WinWord встроенным редактором формул, в качестве которого в последних версиях WinWord используется упрощенный вариант редактора формул MathType. В случае недостаточности упрощенного варианта необходимо инсталлировать полную коммерческую версию MathType. Уравнения располагаются по центру строки и нумеруются арабскими цифрами в круглых скобках в порядке их упоминания в тексте. Номера уравнений выравниваются по правому краю строки. Уравнения отделяются от текста сверху и снизу одной пустой строкой. При написании нескольких уравнений они также разделяются пустой строкой.

В НОМЕРЕ

Математические модели кривой намагничивания и петель магнитного гистерезиса. Часть II. Развитие арктангенсовой модели	
<i>Матюк В.Ф., Осипов А.А.</i>	3
Вихретоковый дефектоскоп для контроля гильз блока цилиндров дизельного двигателя	
<i>Чернышев А.В., Загорский И.Е.</i>	25
О метрологическом статусе образцов для ультразвукового неразрушающего контроля	
<i>Федоров В.В.</i>	34
Белорусская ассоциация неразрушающего контроля и технической диагностики. Этапы становления и развития	
<i>Попоудина С.А.</i>	44
Конференции	52
Авторский указатель	55
Правила для авторов	56

Международные конференции (стр. 53 и 54)



Česká společnost pro nedestruktivní testování
zve všechny defektoskopické odborníky i zájemce na nejvýznamnější událost
roku 2011 z oblasti nedestruktivního zkoušení v České republice



Czech Society for Non-destructive Testing invites all NDT specialists on

41. mezinárodní konferenci a výstavu NDT techniky 41st International Conference and Exhibition

DEFEKTOSKOPIE 2011
NDE FOR SAFETY 2011

9. – 11.11. 2011, Ostrava, Harmony Club Hotel

Ostrava, Czech Republic, November 9–11, 2011



18TH WCNDT

DURBAN - SOUTH AFRICA - 2012

World Conference on Non-destructive Testing

NDT in service of society
in safety assurance, quality
control and condition monitoring

16 - 20 April 2012, International Convention Centre, Durban, South Africa