

На правах рукописи

До Дык Нгуен

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ КОНТРОЛЯ
МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ, УСИЛИЙ И ВЕСА ГРУЗА**

05.11.13. - Приборы и методы контроля и защиты окружающей среды, веществ, материалов и изделий.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

2014

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Харьковском государственном университете.

Научный руководитель -

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00760855 (V)

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Финкельштейн Владимир Борисович;

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Гунбин Михаил Владимирович.

Ведущая организация - Харьковский государственный автомобильно-технический университет, г. Харьков.

Защита состоится "23" 01 1997 года.

на заседании специализированного ученого совета Д 02.09.11 в Харьковском государственном политехническом университете.

(Харьков - 2, ГСП, ул. Фрунзе 21).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке в Харьковского государственного политехнического университета.

Автореферат разослан "___" _____ 1996 года.

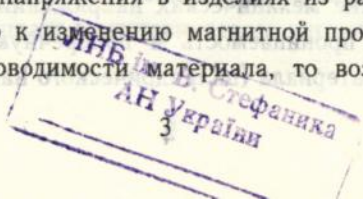
Ученый секретарь
специализированного ученого совета

Горкунов Б.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время повышенный практический интерес представляет развитие и совершенствование методов и средств для определения физико-механических величин с помощью электрических и магнитных измерений, поскольку последние позволяют получать непрерывную информацию, которую можно передавать на расстояние. До сих пор были изучены тензометрические, магнитоупругие и механические методы и устройства для определения механических напряжений, деформаций, усилий, давлений, веса грузов, скручивающих моментов и др. Среди широкого разнообразия средств контроля, реализующих эти методы, особое место занимают магнитоупругие преобразователи и датчики, работающие на постоянном и переменном токе. Широкое распространение этих устройств связано прежде всего с их высокой чувствительностью, широкими пределами контролируемых параметров, достаточно большой выходной мощностью, многопараметровой информацией, содержащейся в сигналах преобразователя, простотой схемных реализаций, сравнительно небольшими погрешностями измерений, а также высокой надежностью и удобством в эксплуатации. В этом плане более предпочтительным является использование магнитоупругих преобразователей со сплошным ферромагнитным магнитопроводом (сердечником) замкнутого или разомкнутого типов. Однако, до сих пор теория работы таких устройств была недостаточно развита. Это связано с затуханием магнитного поля в сплошном сердечнике, нелинейностью кривой намагничивания, трудностью определения картины поля внутри магнитопровода различных конфигураций, анизотропией магнитных параметров в сердечнике. Отсюда возникали серьезные трудности при расчетах и проектировании преобразователей со сплошным сердечником. Осложнялись также в существенной мере вопросы определения точностных характеристик и чувствительности датчика, а, следовательно, и выбор рациональных режимов его работы.

Следует отметить, что до настоящего времени магнитоупругий и тензорезистивный эффекты реализовывались на практике отдельно соответственно в магнитоупругих и тензометрических преобразователях. Поскольку механические напряжения в изделиях из различных материалов приводят одновременно к изменению магнитной проницаемости и удельной электрической проводимости материала, то возникает важная для



практики задача по совместному контролю магнитных и электрических параметров - объединить оба физических эффекта в одном и том же электромагнитном преобразователе в одной и той же зоне контроля изделия, испытывающего механические нагрузки.

Таким образом, наряду с указанной задачей представляет интерес рассмотрение вопросов исследования основных характеристик электромагнитных преобразователей с нагружаемыми изделиями.

Диссертация выполнялась в соответствии с проектами, прошедшими по конкурсам Государственного комитета по вопросам науки и технологий (темы КН6105, направление 6.7.1 по Постановлению ГКНТ № 12 от 04.05.1992 г. и КН6108, направление 5.1.6. по Приказу ГКНТ № 15 от 01.03.1993 г.) Министерства образования Украины (темы М6107, М6109, М5201, приказ № 78 от 21.03.1993 г.), а также на основании Международного договора между Харьковским государственным политехническим и Ханойским технологическим университетами № В-6106 от 30.04.1991 г.

Целью диссертационной работы является создание и исследование электромагнитных методов и реализующего их трансформаторного проходного преобразователя для бесконтактного неразрушающего контроля физико-механических параметров сплошных цилиндрических изделий (механических напряжений, усилий, весов грузов, давлений, скручивающих моментов, деформаций, магнитной проницаемости, удельной электрической проводимости и др.). Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- получить выражения для определения магнитных, электрических и механических величин в нагружаемом цилиндрическом изделии, помещенном в трансформаторный электромагнитный преобразователь (ТЭМП);
- разработать бесконтактные электромагнитные методы для измерения механических напряжений, деформаций, усилий, веса грузов, давлений, моментов на основе контроля амплитуды и фазы магнитного потока в нагружаемом сплошном цилиндрическом изделии (магнитопроводе), размещенном внутри ТЭМП, а также создать методы, состоящие в компенсации частотой магнитного поля изменения магнитных и электрических параметров магнитопровода под действием механических напряжений;
- оценить влияние механических напряжений одновременно на продольную магнитную проницаемость и поперечную удельную электрическую проводимость материала (цилиндрического нагружаемого изделия);

ПМЕТ - разработать методику расчета ожидаемых значений сигналов ТЭМП с механически нагружаемым изделием при зондировании его слабым и сильным магнитным полем;

- создать экспериментальную установку на основе использования ТЭМП с нагружаемым магнитопроводом, имеющим выходные сигналы в виде эдс, фазовых углов и частоты в зависимости от величины механического напряжения в изделии;

- получить результаты экспериментов по определению электрических и магнитных параметров изделия и их функциональных связей с механическими величинами;

- создать методики оценки погрешностей измерений физико-механических параметров изделия;

- определить области применения разработанных методов и устройств при измерении механических напряжений, деформаций, усилий, веса, давлений, скручивающих моментов и других физических величин.

Методы исследования базируются на использовании теории электромагнитного поля, электродинамики сплошных сред, теории рядов, интегрального и дифференциального исчисления, функции комплексного переменного, аппарата специальных функций, теории погрешностей, методов расчета электрических и магнитных цепей, теории магнетизма.

Научная новизна результатов работы состоит в следующем:

- получены соотношения для определения магнитных, электрических и механических величин в нагружаемом цилиндрическом изделии (магнитопроводе), находящемся в трансформаторном электромагнитном преобразователе;

- разработаны бесконтактные электромагнитные методы для контроля механических напряжений, деформаций, усилий, веса грузов, давлений, моментов на основе контроля амплитуды и фазы магнитного потока в нагружаемом сплошном цилиндрическом изделии, помещенном внутри ТЭМП, а также созданы методы компенсации частотой магнитного поля изменения магнитных и электрических параметров изделия под действием механических напряжений;

- оценено влияние механических напряжений одновременно на продольную магнитную проницаемость и поперечную удельную электрическую проводимость материала цилиндрического нагруженного изделия;

- разработаны методики расчета ожидаемых значений сигнала ТЭМП с механически нагруженным изделием при зондировании его слабым и сильным магнитным полем;

- получены конкретные экспериментальные результаты, связанные с бесконтактным определением электрических и магнитных параметров ТЭМП и изделия, а также с установлением зависимостей механических величин с этими параметрами;

- создана методика оценки погрешности измерений физико-механических параметров материалов и изделий.

Практическая ценность работы состоит в том, что созданные экспериментальные методы неразрушающего контроля и устройства позволяют определять механические напряжения, деформации, усилия, вес грузов, давления, моменты не только в лабораторных установках для научных исследований, но и в элементах и узлах действующих металлических конструкций, мостов, ферм, весов и других сооружений. Эти методы дают возможность получить зависимости механических параметров изделия от электрических и магнитных величин, имеющих отношение к ТЭМП и изделию. Полученные соотношения, алгоритмы, предложенные методы и реализующие их устройства нашли широкое практическое применение при разработке, проектировании и эксплуатации установок и средств контроля материалов, веществ, изделий и конструкций.

Реализация и внедрение результатов работы.

Результаты диссертационной работы (методы, алгоритмы, соотношения, электрические схемы установок) были внедрены в Ханойском технологическом университете (Вьетнам). Предполагается использование материалов данной работы в Институте систем управления производственно-сервисной фирме "Lampart" (г. Катовице, Польша). Кроме того, результаты настоящей диссертации будут внедряться в ГНПО "Метрология" (г. Харьков), в Харьковском центре стандартизации, метрологии и сертификации и в совместной Украинско-Вьетнамской лаборатории, созданной в Харьковском государственном политехническом и Ханойском технологическом университетах.

На защиту выносятся.

1. Соотношения, описывающие амплитудный, фазовый и переменночастотный способы бесконтактного определения механических величин в нагружаемых цилиндрических изделиях.

2. Методика расчетов ожидаемых значений сигналов трансформаторного электромагнитного преобразователя с изделием, испытывающем действия усилий, веса, механических напряжений.

3. Результаты определения одновременного воздействия механических напряжений в цилиндрическом ферромагнитном изделии на его продольную проницаемость и поперечную удельную электрическую проводимость.

4. Методика оценки погрешностей измерения механических величин трансформаторным электромагнитным преобразователем.

5. Автоматизированная многопараметровая система контроля физико-механических величин и метрологических характеристик преобразователя и системы в целом.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на:

- Международной научно-технической конференции "Компьютер, наука, технология, образование, здоровье", Харьков-Мишкольц (Венгрия), 1995 (2 доклада);

- Украинской научно-технической конференции "Проблемы и перспективы развития сертификации промышленной продукции", Киев - п. Сколе, 1995;

- Украинской научно-технической конференции "Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах и конверсии производства", Хмельницкий, 1995;

- Украинской научно-технической конференции "Метрология и измерительная техника", "Метрология-95", Харьков, 1995;

- 3-й Международной научно-технической конференции "Контроль, управление в технических системах", Винница, 1995;

- Международной научно-технической конференции "Роль вузов в решении проблем непрерывного образования и воспитания личности", Харьков, 1995;

- Международной научно-технической конференции "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика", Алушта, 1996.

Публикации. Основные результаты опубликованы в 14 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 114 страницах машинописного текста, перечня используемой литературы из 103 наименований и приложения на 13 страницах. Работа иллюстрирована 23 рисунками и 6 таблицами.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований, показана практическая направленность работы в различных областях промышленности, науки и техники, приведена структура диссертации и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены существующие методы и средства для контроля физико-механических параметров материалов и изделий, таких как механические напряжения, деформации, усилия, давления, скручивающие моменты, магнитная проницаемость и удельная электрическая проводимость. Приводится описание механических методов и устройств для определения диаграмм растяжений (сжатий) и регистрации предельных прочностных параметров материалов, рассматриваются методы и средства для контроля усилий, давлений, основанные на законе Гука. Особое внимание уделяется развитию и совершенствованию методов и устройств, основанных на изменении под действием усилия, механического напряжения, деформации и др. электрического сопротивления металлов и полупроводников, магнитного потока, магнитной проницаемости магнитопроводов (изделий), индуктивного, емкостного и полного сопротивления индуктивных и емкостных датчиков. Приводятся основные характеристики типовых тензометрических, магнитоупругих, индуктивных, емкостных и других датчиков усилий, давлений, веса грузов, моментов и др. Отмечается важная роль в развитии неразрушающего контроля физико-механических параметров материалов и изделий электромагнитных (вихретоковых) методов и устройств. Обладая такими достоинствами, как бесконтактность, высокое быстродействие преобразователей, широкопредельность, многопараметровость его сигналов, простотой и надежностью, способностью работать в цеховых условиях, электромагнитные преобразователи находят широкое применение в автоматизированных системах управления и контроля качества изготовления материалов изделий. Среди разнообразных типов электромагнитных преобразователей выделяются многопараметровые устройства, приборы и установки, способные совместно определять несколько параметров изделий. В этой главе проанализированы причины, сдерживающие развитие электромагнитных методов и устройств для определения физико-механических параметров и характеристик сплошных материалов, изделий, магнитопроводов, элементов конструкций.

Сформулирована цель работы и поставлены основные задачи теоретических и экспериментальных исследований.

Во второй главе рассмотрен ряд электромагнитных методов (амплитудный, фазовый и переменнo-частотный) бесконтактного определения механических напряжений в цилиндрических проводящих изделиях на основе измерения амплитуды, фазы и частоты трансформаторным электромагнитным преобразователем.

Дается теоретическое обоснование этих методов на основе решения краевой задачи диффузии переменного продольного магнитного поля в цилиндрическое изделие, введения специальных нормированных величин и установлении функциональных электрических и магнитных параметров изделия с сигналами ТЭМП. В качестве таких нормированных величин вводится амплитуда и фаза φ комплексного параметра K , который характеризует собой удельный нормированный магнитный поток в изделии (либо эдс $E_{2н}$ ТЭМП), обусловленный этим потоком. Выражение для амплитуды K и фазы φ имеет вид:

$$K = \frac{E_{2н}}{\eta \mu_r} = \frac{2}{x} \sqrt{\frac{ber_1^2 x + bei_1^2 x}{ber_0^2 x + bei_0^2 x}}, \quad (1)$$

$$tg\varphi = \frac{bei_1 x (ber_0 x + bei_0 x) + ber_1 x (ber_0 x - bei_0 x)}{ber_1 x (ber_0 x - bei_0 x) - ber_1 x (ber_0 x + bei_0 x)}, \quad (2)$$

где $E_{2н} = E_2/E_0$; E_2 - эдс измерительной обмотки ТЭМП, обусловленная магнитным потоком в изделии; E_0 - эдс ТЭМП без изделия; η - коэффициент заполнения; $\eta = a^2/a_n^2$; a и a_n - радиусы изделия и измерительной обмотки ТЭМП; μ_r - относительная магнитная проницаемость материала изделия; x - обобщенный параметр; $x = a\sqrt{2\pi\mu_0\mu_r\sigma f}$; μ_0 - магнитная постоянная; σ - удельная электрическая проводимость материала; f - частота зондирующего поля, $ber_0 x$, $bei_0 x$, $ber_1 x$ и $bei_1 x$ - специальные функции Кельвина, протабулированные в справочной литературе по функциям Бесселя.

В работе также были получены простые формулы для определения K и φ в приближениях низких $x \leq 1,5$ и у высоких $x \geq 4$ частот. Поскольку и K и φ зависят только от одной переменной x , то были построены зависимости $K = f(x)$, $tg\varphi = f(x)$ и $K = f(tg\varphi)$ в виде массива точек с шагом x равным 0,05.

Амплитудный метод измерения механического напряжения состоит в измерении эдс E_2 и E_0 и использовании зависимости $K = f(x)$. При этом формула для определения σ_m имеет вид:

$$\sigma_m = \pm A \left(\frac{x^2(K)}{x^2(K_0)} - 1 \right), \quad (3)$$

где A - постоянный коэффициент для данного материала изделия; $x(K)$ и $x(K_0)$ - обобщенные параметры для нагруженного и ненагруженного изделия.

Формулой (3) пользуются после измерений эдс E_2 и E_0 ТЭМП с нагруженным и ненагруженным изделием при известных a , a_{π} и μ_{r0} (где μ_{r0} - магнитная проницаемость ненагруженного изделия). Затем определяют K и K_0 , а, далее, используя функцию $K = f(x)$ находят значение $x(K)$ и $x(K_0)$. Знаки "+" и "-" соответствуют растяжению и сжатию изделия. Аналогичным образом была получена формула для определения σ_m фазовым методом. При этом, измерив фазы φ и φ_0 , эдс E_2 и E_{20} (где индекс "0" имеет отношение к ненагруженному изделию), находят σ_m по формуле

$$\sigma_m = \pm A \left(\frac{x^2(\varphi)}{x^2(\varphi_0)} - 1 \right). \quad (4)$$

Здесь $x(\varphi)$ и $x(\varphi_0)$ определяют по зависимости $\varphi = f(x)$.

Выражениями (3) и (4) удобно пользоваться, когда изменение μ_r от воздействия σ_m гораздо больше, чем изменение σ .

Если материал изделия изменяет под действием σ_m в большей степени величину σ (или удельного электрического сопротивления ρ), то при использовании амплитудного и фазового методов значения σ_m находят по формулам

$$\sigma_m = \pm \frac{E}{k_T} \left(\frac{x(K_0)}{x(K)} - 1 \right); \quad (5)$$

$$\sigma_m = \pm \frac{E}{k_T} \left(\frac{x(\varphi_0)}{x(\varphi)} - 1 \right), \quad (6)$$

где E - модуль Юнга; k_T - коэффициент тензочувствительности материала изделия.

Суть переменного-частотного метода состоит в том, что при механическом нагружении изделия все время поддерживают постоянное значение $x = x_0$ (x_0 соответствует ненагруженному изделию), путем компенсации изменения μ_r и σ из-за варьирования σ_m изменением частоты f . При этом в случае преобладания изменения μ_r по сравнению с изменением σ

$$\sigma_m = \pm A \left(\frac{f_0}{f} - 1 \right). \quad (7)$$

В противном случае, когда больший вклад в σ_m дает электропроводность, чем μ_r

$$\sigma_m = \pm \frac{E}{k_T} \left(\frac{f}{f_0} - 1 \right). \quad (8)$$

В (7) и (8) f и f_0 - частоты поля, соответствующие нагруженному и ненагруженному изделию.

В этой главе получены простые выражения для определения σ_m в приближениях высоких и низких частот в случаях амплитудного, фазового и переменного-частотного методов.

На основании условия слабого затухания магнитного поля в изделии рассмотрена возможность определения магнитной проницаемости в широком диапазоне изменения H (то есть на всех участках кривой намагничивания).

Создана методика расчета ожидаемых значений сигналов ТЭМП при изменении σ_m в изделии. Методика основана на том, что по заданным значениям σ_m и частоты f находят изменения μ_r (или σ), а затем, пользуясь зависимостями $K = f(x)$ и $\text{tg}\phi = f(x)$ и полученными в главе 2 соотношениями рассчитывают в итоге значения результирующей эдс ТЭМП, ее фазы при реализации амплитудного и фазового методов, а, поддерживая обобщенный параметр $x = x_0$ постоянным, находят значения частот f , соответствующих разным σ_m при нагружении изделия. Данная методика позволила определить основные параметры установки и подобрать измерительную аппаратуру для экспериментальных исследований физико-механических величин.

Третья глава посвящена разработке и исследованию электромагнитной установки для контроля физико-механических параметров изделия при использовании ТЭМП и стандартной измерительной аппаратуры. По

мимо электрической части установка содержала механическую часть для растяжения изделия (приспособления для крепления мерных грузов к изделию). Были получены экспериментальные градуировочные функции преобразования; $E_2 = f(\sigma_m)$, $E_p = f(\sigma_m)$, $\Phi = f(\sigma_m)$, $\Phi_p = f(\sigma_m)$ и $f = f(\sigma_m)$, соответственно, при реализации амплитудного, фазового и переменнo-частотного методов. Здесь E_p и Φ_p - амплитуда и фаза результирующей эдс ТЭМП; $\dot{E}_p = \dot{E}_2 + \dot{E}_1$; E_1 - часть E_p , обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре между изделием и измерительной обмоткой ТЭМП. На основании этих зависимостей установлено, что относительные чувствительности к изменению σ_m при реализации амплитудного и фазового методов составляют 27,5 % и 13,5 % соответственно.

Установлена определенная последовательность измерительных и расчетных процедур при определении продольной μ_r и поперечной σ . Эти значения μ_r и σ находят по формулам

$$\mu_r = \frac{E_2}{E_0 \eta K}; \quad \sigma = \frac{x^2}{2\pi a^2 \mu_0 \mu_r f} \quad (9)$$

На основании совместного контроля μ_r и σ при различных фиксированных значениях σ_m в изделии показано, что максимальные изменения продольной μ_r и поперечной σ могут достигать 40 % и 15 % соответственно для ферромагнитного стального образца при наибольшем значении $\sigma_m \approx 11$ МПа.

На основании совместного определения μ_r и σ были построены зависимости μ_r и σ от σ_m для этого образца и определены магнитоупругие чувствительности материала образца к механическому напряжению.

На основании градуировочных функций преобразования были получены выражения для расчета погрешностей γ_{σ_m} измерений σ_m . При реализации амплитудного, фазового и переменнo-частотного методов имеем

$$\gamma_{\sigma_m} = m \sqrt{C_n (\gamma_{E_p}^2 + \gamma_{E_0}^2) + \gamma_F^2 + (2\gamma_a)^2} \quad (10)$$

$$\gamma_{\sigma_m} = m \sqrt{(C_\Phi \gamma_{\Phi_p})^2 + \gamma_F^2 + (2\gamma_a)^2} \quad (11)$$

$$\gamma_{\sigma_m} = m \sqrt{(C_f \gamma_f)^2 + \gamma_F^2 + (2\gamma_a)^2} \quad (12)$$

где γ_r - относительная погрешность мерного груза (или усилия), растягивающего образец; γ_{E_r} , γ_{E_s} , γ_a , γ_f , - относительные погрешности величин, обозначенных индексами; m - коэффициент, зависящий от доверительной вероятности α , при $\alpha=0,95$, $m=1,1$; C_n , C_φ , C_f - коэффициенты влияния, определяемые производными градуировочных кривых в соответствующих рабочих точках (либо тангенсами углов наклона касательных, проведенных в этих точках). Расчеты показывают, что при использовании амплитудного, фазового и переменного-частотного методов численные значения γ_{σ_m} не превышают: 3,5%, 4,5% и 0,8% соответственно. Универсальные функции $K = f(x)$ и $tg\varphi = f(x)$ позволили получить выражения для расчета относительных погрешностей измерения γ_{μ_r} и γ_σ , и по ним построить зависимости $\gamma_{\mu_r} = f(x)$, $\gamma_\sigma = f(x)$ и $\gamma_{\mu_r} = f(\sigma_m)$, $\gamma_\sigma = f(\sigma_m)$ при нагружении изделия. Первые две из них дали возможность найти оптимальный с точки зрения достижения малых погрешностей режим работы ТЭМП, который соответствовал условию $1 \leq x \leq 3$. При этом γ_{μ_r} и γ_σ не превышали 1,0% и 2,0% соответственно.

Оценка достоверности контроля при отбраковке по допустимым значениям σ_m показывает, что негодных изделий может быть 2% при условии нормального закона распределения случайных погрешностей измерения σ_m .

В четвертой главе приведены конструкции датчиков и устройств, реализующих рассмотренные электромагнитные методы определения механических напряжений, усилий, давлений, веса грузов, скручивающих вал моментов по контролируемым электрическим сигналам ТЭМП. На основании полученных соотношений, алгоритмов, методов измерения σ_m и методики оценки погрешностей измерения и контроля разработана функциональная схема автоматизированной системы контроля физико-механических параметров цилиндрических проводящих изделий, позволяющая непрерывно в оптимальном режиме работы ТЭМП получать многопараметровую информацию, содержащуюся в выходных сигналах ТЭМП, производить все расчетные операции, связанные не только с определением значений μ_r , σ и σ_m и построением градуировочных кривых, но и с оценкой погрешностей систематических и случайных измерений магнитных, электрических и механических параметров изделий. Рассмотренная система неразрушающего контроля позволяет расширить функциональные возможности установки на основе использования ТЭМП, ускорить расчетные

операции, освободить исследователя от вычислительных процедур, повысить производительность труда и уменьшить погрешности измерений.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате теоретических и экспериментальных исследований в диссертации решены важные задачи создания и исследования электромагнитных методов и реализующих их установки и автоматизированной системы для неразрушающего контроля физико-механических параметров нагружаемых сплошных цилиндрических изделий. Основные результаты работы состоят в следующем

1. Получены расчетные соотношения (приближенные и точные), описывающие амплитудный, фазовый и переменного-частотный методы определения физико-механических параметров проводящих нагружаемых цилиндрических изделий.

2. Предложена методика расчета ожидаемых значений сигналов трансформаторного электромагнитного преобразователя ТЭМП, реализующего амплитудный, фазовый и переменного-частотный методы контроля физико-механических величин.

3. На основе использования ТЭМП разработана установка для определения механических напряжений, деформаций, усилий, магнитных, электрических и других параметров цилиндрических изделий тремя рассмотренными методами.

4. Установлено, что полученные расчетным путем и экспериментально результаты определения σ_m свидетельствуют о том, что амплитудный и фазовый методы позволяют получить низкую среднюю разрешающую способность (к примеру, 6,5 мВ/МПа и 0,3 град/МПа при $\sigma_m = 0 \div 11$ МПа) и, поэтому, их целесообразно использовать при сравнительно больших механических напряжениях в изделии. В то же время переменного-частотный метод имеет смысл применять в широком диапазоне изменения механических напряжений, поскольку эти методы дают возможность достигнуть высокой чувствительности преобразователя к механическим напряжениям в указанном их интервале.

5. Разработана методика оценки воздействия механических напряжений одновременно на изменение продольной относительной магнитной проницаемости и поперечной удельной электрической проводимости мате-

риала изделия. Эта методика позволяет реализовать в одном и том же электромагнитном преобразователе два физических эффекта: тензорезистивного и магнитоупругого. Показано, что при максимальных механических усилиях, действующих на изделие, наибольшее относительное изменение магнитной проницаемости и удельной электрической проводимости составляют 40% и 15% соответственно.

6. Оценены погрешности определения механических напряжений, магнитной проницаемости и удельной электрической проводимости материала нагруженного изделия. Построены зависимости этих погрешностей от механических напряжений и от обобщенного параметра x . Найден рациональный режим работы преобразователя $1 \leq x \leq 3$. В этом случае относительные погрешности измерения механических напряжений, магнитной проницаемости и удельной электропроводности не превышают, соответственно, 1,5%, 1,0% и 2,0 %.

7. На основании созданных методов, методик, формул и алгоритмов разработана функциональная схема автоматизированной системы контроля физико-механических параметров цилиндрических изделий, которая позволяет реализовать рассмотренные методы в оптимальном режиме работы преобразователя с оценками всех видов погрешностей измерения и контроля.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Себко В.П., Чепков В.В., До Дык Нгуен, Вьонг Бинь Зьонг. Определение кривых намагничивания разомкнутых слабомагнитных образцов. Техническая электродинамика, № 6, 1995, с. 70-73.

2. Себко В.П., Вьонг Бинь Зьонг, До Дык Нгуен, Нгуен Хоанг Нги. Попраки к магнитным характеристикам слабомагнитных разомкнутых образцов, помещенных в соленоид. Украинский метрологический журнал, вып. 1, 1997, с. 10-12.

3. Себко В.П., Игнатъева С.Н., До Дык Нгуен, Нгуен Лам Донг. Коррекция динамических характеристик ферромагнитных и слабомагнитных изделий. Труды конференции с международным участием "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика." Харьков.: Основа, 1996, с. 203.

4. Себко В.П., Горкунов Б.М., Москаленко И.И., До Дык Нгуен. Амплитудный и фазовый методы измерения механических напряжений в проводящих изделиях. Материалы международной научно-технической

конференции "Компьютер, наука, технология, образование, здоровье". Харьков-Мишкольц (Венгрия), ч. 1, 1995, с. 174.

5. Себко В.П., Горкунов Б.М., До Дык Нгуен. Измерение электрических и магнитных параметров трубчатых проводящих изделий. Материалы международной научно-технической конференции "Компьютер, наука, технология, образование, здоровье". Харьков - Мишкольц (Венгрия), ч. 1, 1995, с. 176

6. Себко В.П., Горкунов Б.М., Сиренко Н.Н., Чепков В.В., До Дык Нгуен. Автоматизированная система управления технологическими процессами. Тезисы докладов III Международной научно-технической конференции "Контроль и управление в технологических системах". ч. II, Винница, 1995, с. 500.

7. Себко В.П., Никитина Я.С., До Дык Нгуен. Активные двухпараметровые электромагнитные методы. Тезисы доклада конференции "Проблемы и перспективы развития сертификации промышленной продукции". Киев, 1995, с. 15-16.

8. Себко В.П., Горкунов Б.М., Чепков В.В., До Дык Нгуен, Нгуен Лам Донг. Магнитоупругие преобразователи для измерения массы изделия. Тезисы докладов Украинской научно-технической конференции "Метрология и измерительная техника" (Метрология-95). Харьков, 1995, с. 82.

9. Себко В.П., Горкунов Б.М., Москаленко И.И., До Дык Нгуен, Выонг Бинь Зыонг. Переменно-частотный метод определения механических величин. Тезисы докладов Украинской научно-технической конференции "Метрология и измерительная техника" (Метрология-95). Харьков, 1995, с. 196.

10. Себко В.П., Выонг Бинь Зыонг, До Дык Нгуен, Нгуен Хоанг Нги, Чепков В.В. Определение магнитных и электрических параметров цилиндрических изделий. Рукопись депон. в ГНТБ Украины, № 1053 - Ук95, 25.04.1995, 14с.

Личный вклад автора в работах в соавторстве состоит в получении основных соотношений, описывающих амплитудный, фазовый и переменнo-частотный методы [1,4,9]; в получении методики расчета ожидаемых сигналов преобразователя с нагружаемым изделием [7,10]; в разработке алгоритмов и функциональных схем автоматизированных систем контроля физико-механических параметров цилиндрических изделий [6,8]; проведены оценки точностных характеристик преобразователей [2,3,5].

SUMMARY

Do Duc Nguyen. The electromagnetic transformer converter for the control mechanical pressure, efforts and weight of load.

The dissertation for a seeking of the scientific degree of candidate's of technical sciences on speciality 05.11.13 - devices and methods of the control and protection of an environment, substances, materials and products. Kharcov state politechnical university. Kharcov, 1996.

In the dissertation electromagnetic methods and realizing devices of a transformer type for non-contact non-destructive testing of physical-mechanical parameters of continuous cylindrical products (mechanical permeability, electro-conductivity and other) are developed. A technique of account of expected meanings of signals of the converter with a product, testing mechanical pressure and also technique of definition of meanings longitudinal magnetic permeability and cross electro-conductivity is established. Automated installation for the control of testing of physical-mechanical parameters metal sample is developed, and also estimation metrological of the characteristics of the converter is spent.

АНОТАЦІЯ

До Дик Нгуен. Електромагнітний трансформаторний перетворювач для контролю механічних напружень, зусиль та ваги вантажу.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 - прилади і методи контролю та захисту навколишнього середовища, речовин, матеріалів та виробів. Харківський державний політехнічний університет. Харків, 1996.

В дисертації розроблені електромагнітні методи та реалізуючі пристрої трансформаторного типу для безконтактного неруйнівного контролю фізико-механічних параметрів суцільних циліндричних виробів (механічних напружень, деформації, магнітної проникності, електропровідності та інш.). Розроблена методика розрахунку очікуваних параметрів сигналу перетворювача з виробом, який знаходиться під механічним напруженням, а також методика розрахунків величин продольної магнітної проникності та поперечної електропровідності. Розроблена автоматизована система для контролю фізико-механічних параметрів металевих виробів, а також проведена оцінка метрологічних характеристик перетворювача.

Ключевые слова: электромагнитный преобразователь, магнитная проницаемость, механическое напряжение, деформация, удельная электрическая проводимость, магнитный поток, частота, фаза.

441265

AB 36.641

AB 36.641