

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ И ФЕРРОМАГНИТНОГО ОБРАЗЦА С ТРЕЩИНОЙ

В. Ф. ГАМАЛИЙ, С. В. СЕРЕБРЕННИКОВ, Д. В. ТРУШАКОВ

Представлены результаты исследований взаимодействия накладного вихретокового преобразователя (ВТП) с П-образным магнитопроводом и ферромагнитного материала с дефектом типа «непровар» или «сквозная трещина». Разработана графоаналитическая модель и получены упрощенные формулы для инженерного расчета внесенной индуктивности ВТП в зависимости от ширины раскрытия трещины и величины зазора. Получены выражения для оценки чувствительности ВТП к ширине трещины и величине зазора.

The work contains the results of theoretical and experimental research of interaction between a laying-in U-type core eddy-current transformer (ECT) and tested ferromagnetic material with defects of through-the-thickness crack type and fusion type.. There has been developed a graphic-analytical model and received simplified equations for engineering calculation of introduced inductances of such eddy-current transformer depending on crack width and air-gap fluctuation size. The have been received equations for estimation sensitivities of eddy-current transformer to depends on crack width growth and to change of air-gap.

Современная вихретоковая дефектоскопия характеризуется широкой гаммой серийно выпускаемых приборов, обусловленной спецификой их применения (особенностями структуры и свойств материала, формы контролируемого изделия, требований заказчика и т. п.). В то же время возникает необходимость разработки и исследования специализированных приборов для вихретоковой дефектоскопии [1]. До настоящего времени особенно актуальной задачей остается создание инженерных методик расчета ВТП, поскольку строгое теоретическое описание физических процессов при контроле неоднородных сред ВТП с неоднородным полем вызывает определенные трудности. Классический подход к решению этой задачи, основанный на решении уравнений Максвелла и Гельмгольца в дифференциальном виде [2], является сложным и громоздким. Поэтому при создании инженерных методик расчета используют некоторые упрощения и допущения, позволяющие применить методы, рассмотренные в работе [3].

Целью данных исследований является разработка упрощенной математической модели взаимодействия ВТП с ферромагнитным образцом, содержащим дефект типа «непровар» или «сквозная трещина». Полученная математическая модель позволила бы оценить приемлемость совпадения теоретических и экспериментальных исследований [1].

Методика проведения предыдущих исследований, описанных в работе [4], включала:

изготовление накладных ВТП стержневого типа и с П-образным магнитопроводом (сердечником);

имитирование продольных сквозных трещин с шириной раскрытия T , нормированной к диаметру D полюса магнитопровода ВТП в пределах $0...0,3$ мм на образцах ферромагнитной стали;

изменение зазора δ между накладным ВТП и контролируемой поверхностью, нормированного к диаметру D магнитопровода ВТП в пределах $0...0,3$ мм;

построение и анализ зависимостей вносимой индуктивности $L_{вн}$ от соотношений T/D и δ/D .

Исследования ВТП с различной формой магнитопровода показали, что для надежного выявления несплошностей типа «непровар» необходимо использовать накладной ВТП с П-образным сердечником, который имеет наибольшую чувствительность к анизотропии такого рода дефектов. Меньшая чувствительность стержневого ВТП объясняется тем, что у него (в отличие от П-образного) лишь один торец является рабочим (рис. 1, а). Экспериментальные исследования показали, что П-образный ВТП превосходит стержневой по чувствительности даже в том случае, ког-

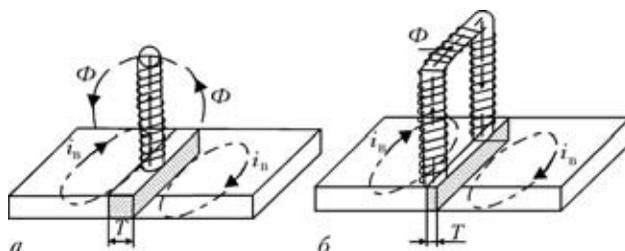


Рис. 1. ВТП, расположенный над контролируемым ферромагнитным образцом, содержащим дефект типа «трещина – непровар»: а, б — соответственно со стержневым и П-образным сердечником



да трещина находится под одним из двух полюсов магнитопровода. Наибольшая чувствительность обеспечивается при попадании непровода или трещины одновременно под оба полюса П-образного ВТП (рис. 1, б) [5].

Моделирование ВТП с П-образным магнитопроводом. Создание упрощенной математической модели, которая позволит описать взаимодействие накладного ВТП с П-образным магнитопроводом и ферромагнитного материала с дефектом типа «сквозная трещина» или «непроводар» с шириной раскрытия T при наличии главного мешающего вихрекового контролю фактора — изменяющегося зазора δ между полюсами ВТП и контролируемой поверхностью, основано на графоаналитическом анализе схемы, представленной на рис. 1, б.

П-образный накладной параметрический ВТП представляет собой катушку индуктивности с ферромагнитным сердечником П-образной формы, на который намотана высокочастотная обмотка с числом витков W . Магнитный поток Φ от ВТП индуцирует в контролируемом образце вихревые токи i_v , интенсивность которых определяется удельной электропроводностью образца и параметрами трещины. При изменении ширины раскрытия трещины T или величины зазора δ изменяется потокоцепление магнитного поля и магнитное сопротивление цепи ВТП-образец. Определим зависимость силы тока I в обмотке ВТП от величины зазора δ и ширины раскрытия трещины T :

$$I = \frac{U}{Z_0 + Z_{вн}} = \frac{U}{Z}, \quad (1)$$

где U — напряжение питающего ВТП тока; Z_0 — сопротивление обмотки ВТП в воздухе; $Z_{вн}$ — дополнительное сопротивление, вносимое в ВТП образцом ($Z_{вн} = f(T, \delta)$); Z — полное сопротивление обмотки ВТП.

При «жестких» условиях технологического процесса изготовления деталей, которые диктует современная конкурентная среда, магнитная проницаемость μ и электропроводность σ материала практически остаются неизменными для всех образцов. Поэтому влияние μ и σ на $Z_{вн}$ при решении поставленной задачи не рассматриваем.

Импеданс обмотки ВТП состоит из активного R и индуктивного X_L сопротивлений:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}, \quad (2)$$

где f — частота тока; L — индуктивность обмотки ВТП. (3)

$$L = L_0 + L_{вн} = \frac{W\Phi}{I}.$$

Здесь L_0 — индуктивность обмотки ВТП в воздухе; $L_{вн}$ — дополнительная индуктивность, вносимая в ВТП образцом ($L_{вн} = f(T, \delta)$).

При достаточно малых значениях T и δ и значительных величинах магнитных проницаемостей магнитопровода ВТП и контролируемого образца потоками рассеивания можно пренебречь и считать, что через образец замыкается весь магнитный поток:

$$\Phi = \frac{IW}{R_M}, \quad (4)$$

где R_M — магнитное сопротивление цепи ВТП-образец, $R_M = R_{ст} + R_3$ ($R_{ст}$ — магнитное сопротивление сердечника и ферромагнитной стали, из которой изготовлена деталь; R_3 — магнитное сопротивление воздушного зазора).

Магнитное сопротивление воздушного зазора:

$$R_3 = \frac{2\delta}{\mu_0 S_M}, \quad (5)$$

где μ_0 — магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м); S_M — площадь поперечного сечения сердечника в зоне воздушного зазора.

С учетом этого магнитный поток:

$$\Phi = \frac{IW}{R_{ст} + 2\delta/(\mu_0 S_M)}. \quad (6)$$

Тогда, согласно выражений (3) и (6), индуктивное сопротивление обмотки ВТП:

$$X_L = \omega L = \frac{\omega W^2}{R_{ст} + 2\delta/(\mu_0 S_M)}. \quad (7)$$

Полное сопротивление обмотки ВТП:

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 \left[\frac{W^2}{R_{ст} + 2\delta/(\mu_0 S_M)} \right]^2}. \quad (8)$$

Анализ зависимости показывает, что с увеличением воздушного зазора импеданс Z уменьшается по закону, близкому к гиперболическому.

Пренебрегая величиной $R_{ст}$ в выражении (8), поскольку магнитное сопротивление воздушного зазора значительно превышает магнитное сопротивление сердечника, получаем упрощенные выражения для определения индуктивного сопротивления и индуктивности:

$$X_L \approx \frac{\omega W^2}{2\delta/(\mu_0 S_M)} = \frac{0,5\mu_0 \omega W^2 S_M}{\delta}, \quad (9)$$

$$L \approx \frac{(W^2 \mu_0 S_M)/2}{\delta} = \frac{K}{\delta}, \quad (10)$$



где K — функция конструктивных параметров ВТП.

Оценим чувствительность ВТП при включении его в плечо мостовой измерительной схемы в качестве изменяющегося сопротивления. Питание моста осуществляется напряжением переменного тока частоты f . Под чувствительностью ВТП к изменению воздушного зазора K_δ будем понимать относительное изменение сопротивления, нормированное к приращению величины воздушного зазора [4]:

$$K_\delta = \frac{\Delta Z/Z}{\Delta \delta}, \quad (11)$$

где $\Delta \delta$ — приращение величины воздушного зазора, которое вызывает нежелательное изменение полного сопротивления обмотки ВТП Z на величину ΔZ .

При $R \ll X_L$ из выражения (2) получим $Z = \omega L$. Производная полного сопротивления по изменению воздушного зазора при $\omega = \text{const}$ и с учетом выражения (9)

$$\frac{dZ}{d\delta} = \frac{\omega dL}{d\delta} = -\frac{\omega W^2 \mu_0 S_M}{2\delta^2} \quad (12)$$

или в конечных приращениях

$$\frac{\Delta Z}{\Delta \delta} = -\frac{\omega W^2 \mu_0 S_M}{2\delta^2}. \quad (13)$$

Из выражений (10), (11) и (13) получаем формулу для определения чувствительности ВТП к изменению воздушного зазора:

$$K_\delta = \frac{\Delta Z/\Delta \delta}{Z} \approx \frac{\omega W^2 \mu_0 S_M}{2\delta^2 \omega L} \approx \frac{W^2 \mu_0 S_M 2\delta}{2\delta^2 W^2 \mu_0 S_M} \approx \frac{1}{\delta}. \quad (14)$$

Таким образом, с увеличением величины зазора чувствительность ВТП уменьшается гиперболически. При малых рабочих зазорах чувствительность

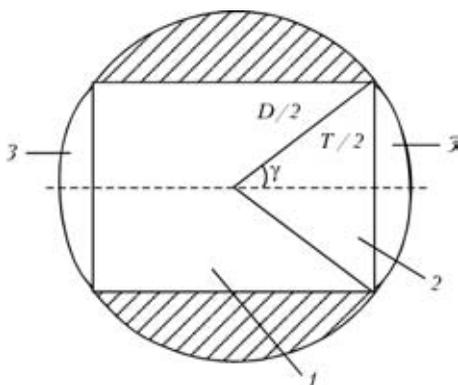


Рис. 2. Схематическое изображение расположенной под полюсом сердечника ВТП трещины, разделенной на следующие элементы: 1 — прямоугольник; 2 — треугольник; 3 — сегменты

K_δ велика, например, при $\delta = 0,1$ мм и $\Delta \delta = 0,01$ мм чувствительность $K_\delta = 1/10^{-4} = 10000$ 1/мм и относительное изменение сопротивления $\Delta Z/Z = K_\delta \Delta \delta = 10000 \cdot 10^{-5} = 0,1$; т. е. при изменении зазора на 0,01 мм сопротивление ВТП изменяется на 10 %, что соизмеримо с полезным сигналом от трещины.

Для определения зависимости внесенной индуктивности ВТП $L_{\text{вн}}$ от ширины раскрытия трещины представим трещину, расположенную под полюсами сердечника ВТП, в виде прямоугольника и двух прилегающих к нему сегментов (рис. 2).

Обозначим соотношение ширины раскрытия трещины T к диаметру сердечника D через величину α : $T/D = \alpha$. Как видно из рис. 2, $\sin \gamma = \frac{T/2}{D/2} = \frac{T}{D}$. Для малых значений угла γ $\sin \gamma \approx \gamma$, таким образом $\gamma \approx \alpha$. Площадь трещины $S_{\text{тр}}$ равняется сумме площадей прямоугольника $S_{\text{тр}}$ и двух сегментов $S_{\text{сег}}$: $S_{\text{тр}} = S_{\text{тр}} + 2S_{\text{сег}}$. При малых α ($\alpha \leq 0,3$) площадь прямоугольника:

$$S_{\text{тр}} = \frac{D}{2} \cos \gamma 2T = DT \sqrt{1 - \sin^2 \gamma} \approx DT \sqrt{1 - \alpha^2} = DT \sqrt{1 - \alpha^2} \approx DT \left(1 - \frac{1}{2}\alpha^2\right) = D^2 \alpha \left(1 - \frac{1}{2}\alpha^2\right).$$

Площадь сегмента: $S_{\text{сег}} = \frac{\pi R^2}{360} 2\gamma - S_{\text{тр}}$ ($S_{\text{тр}}$ — площадь треугольника) или

$$S_{\text{сег}} = \frac{\pi(D/2)^2}{360} 2\frac{360}{2\pi} \alpha - S_{\text{тр}}.$$

В свою очередь, площадь треугольника:

$$S_{\text{тр}} = \frac{1}{2} \frac{D}{2} \cos \gamma T = \frac{D^2}{4} \alpha \sqrt{1 - \alpha^2} = \frac{D^2}{4} \alpha \left(1 - \frac{1}{2}\alpha^2\right).$$

Таким образом, площадь сегмента равняется:

$$S_{\text{сег}} = \frac{D^2}{4} \alpha - \frac{D^2}{4} \alpha \left(1 - \frac{1}{2}\alpha^2\right) = \frac{D^2}{8} \alpha^3.$$

Общая площадь трещины под полюсом ВТП:

$$S_{\text{тр}} = D^2 \alpha + 2 \frac{D^2}{8} \alpha^3 - \frac{1}{2} D^2 \alpha^3 = D^2 \left[\alpha - \frac{1}{4} \alpha^3 \right] = D^2 \left[\frac{T}{D} - \frac{1}{4} \left(\frac{T}{D}\right)^3 \right]. \quad (15)$$

Определим угол γ для максимальной ширины раскрытия трещины $T/D = \alpha = 0,3$, т. е. $\sin \gamma = 0,3$; $\gamma = 17^\circ \approx 0,3$ рад. Таким образом, общая площадь трещины при $\alpha = 0,3$:



$$S_{тр} = D^2(0,3 - \frac{1}{4}0,027) = 0,293 D^2.$$

Анализ этого соотношения показывает, что с погрешностью 2 % можно считать, что в пределах $0 \leq \alpha \leq 0,3$ площадь трещины $S_{тр}$ изменяется линейно в зависимости от параметра α :

$$S_{тр} \cong \alpha D^2.$$

Таким образом, при $\alpha \leq 0,3$ активная площадь поперечного сечения полюса над трещиной S_M^a (незаштрихованная часть на рис. 2) будет связана с шириной раскрытия трещины T также линейно:

$$S_M^a = S_0 - S_{тр} = \frac{\pi D^2}{4} - \alpha D^2 = \frac{\pi D^2}{4} \left[1 - \frac{4}{\pi} \alpha \right],$$

где S_0 — полная площадь полюса ВТП.

Величина потока рассеивания пропорциональна площади трещины $S_{тр} \cong \alpha D^2$, поэтому с ростом раскрытия трещины T она будет линейно возрастать. Индуктивность ВТП:

$$L \approx \frac{0,5 \mu_0 W^2 S_M}{\delta} = K_1 S_M = K_1 S_0 \left(1 - \frac{4}{\pi} \alpha \right) \quad (16)$$

будет уменьшаться линейно с ростом T (и соответственно α).

Таким образом, зависимость величины внесенной индуктивности ВТП от изменения раскрытия трещины T описывается линейной функцией при условии, что $T/D \leq 0,3$:

$$L_{вн} \approx \left[1 - \frac{4}{\pi} \frac{T}{D} \right]. \quad (17)$$

Определим чувствительность ВТП $K_{тр}$ к ширине раскрытия трещины. Чувствительность представляет собой относительное изменение сопротивления, деленное на приращение величины площади раскрытия трещины:

$$K_{тр} = \frac{\Delta Z_{тр} / Z_{тр}}{\Delta T} = \frac{\Delta Z_{тр} / Z_{тр}}{D \Delta \alpha}. \quad (18)$$

Индуктивность $L_{тр}$ обмотки ВТП, полюсы которого размещены вдоль трещины, определяется из упрощенного выражения:

$$L_{тр} \approx \frac{W^2}{2\delta / (\mu_0 S_M)} \approx \frac{W^2 S_M \mu_0}{2\delta} \approx \frac{W^2 \mu_0}{2\delta} S_0 \left(1 - \frac{4}{\pi} \alpha \right). \quad (19)$$

Полное сопротивление:

$$Z_{тр} \approx \sqrt{R^2 + \omega^2 \left[\frac{W^2}{2\delta / (\mu_0 S_M)} \right]^2}. \quad (20)$$

При $R \ll X_L$ получаем $Z_{тр} \approx \omega L_{тр}$. Производная полного сопротивления по изменению ширины трещины:

$$\frac{dZ_{тр}}{d\alpha} = \omega \frac{dL_{тр}}{d\alpha}. \quad (21)$$

$$\frac{dZ_{тр}}{d\alpha} = \frac{2\pi\omega W^2}{\delta} S_0 \frac{d(1 - \frac{4}{\pi}\alpha)}{d\alpha} = - \frac{8\omega W^2 S_0}{\delta}. \quad (22)$$

Поделив выражение (22) на $Z_{тр} \approx \omega L_{тр} \approx \frac{2\pi\omega W^2 S_0}{\delta}$, получим:

$$K_{тр} = \frac{\Delta Z}{Z D \Delta \alpha} \approx \left| - \frac{\frac{2\pi\omega W^2 S_0}{\delta}}{\frac{\omega W^2 \mu_0 S_0 (1 - \alpha)}{2\delta}} \right| \approx \frac{1}{D(1 - \alpha)} \approx D(1 + \alpha). \quad (23)$$

Таким образом, при раскрытиях трещины $\alpha \leq 0,3$ чувствительность ВТП изменяется приблизительно линейно с ростом α .

При сравнении выражения (14) для определения чувствительности ВТП к изменению величины зазора δ с выражением (23) для определения чувствительности ВТП к изменению ширины раскрытия трещины T видно, что изменение величины зазора между ВТП и контролируемой поверхностью является серьезным мешающим вихретоковому контролю фактором, особенно в области малых δ . Поэтому для повышения точности проведения вихретокового контроля нами разработан резонансный способ отстройки от мешающего влияния изменяющейся величины зазора [6], на основе которого был разработан вихретоковый дефектоскоп для контроля металлических изделий [7].

Экспериментальные исследования, проведенные на частотах 1 и 10 кГц, с точностью до 85 % подтвердили справедливость выражений (10), (17) [5].

Выводы

В результате проведенных исследований создано графоаналитическую модель ВТП с П-образным магнитопроводом при его взаимодействии с ферромагнитным образцом, содержащим дефект типа «сквозная трещина» (непровар). Анализ модели показал, что:

зависимость внесенной индуктивности от отношения ширины раскрытия трещины T , отнесенной к диаметру сердечника D , для П-образного ВТП описывается линейной функцией:



$$L_{\text{вн}} \approx \left[1 - \frac{4}{\pi} \frac{T}{D} \right];$$

зависимость величины внесеной индуктивности ВТП от изменения воздушного зазора δ между полюсами преобразователя и контролируемой поверхностью (что является основным мешающим вихретоковому контролю фактором) описывается гиперболическим законом: $L_{\text{вн}} \approx K/\delta$.

Для оценки чувствительности ВТП получены следующие выражения: в диапазоне $T/D \leq 0,3$ чувствительность зависит от T линейно $K_{\text{тр}} \approx D(1 + T/D)$;

чувствительность ВТП к изменению воздушного зазора обратно пропорциональна δ : $K\delta \approx 1/\delta$.

Результаты исследований были использованы при разработке автоматизированной системы дефектоскопии ответственных деталей гидронасоса [1].

1. Гамалій В. Ф., Серебренников С. В., Трушаков Д. В. Автоматизована система дефектоскопії відповідальних деталей гідронасоса // Техн. діагностика і неразруш. контроль. — 2006. — № 1. — С. 27–32.

2. Соболев В. С., Шкарлет Ю. М. Накладные и экранные датчики. — Новосибирск: Наука, 1967.

3. Серебренников С. В., Смирнов Б., Трушаков Д. В. Математичне моделювання взаємодії електромагнітного поля прямокутної котушки з вертикальношаровим провідним середовищем // Теор. електротехніка. — 2000. — Вип. 55. — С. 85–89.

4. Серебренников С. В., Трушаков Д. В., Версаль В. А. Сравнительный анализ вихретоковых датчиков с магнитоприводом // Матер. науч.-техн. конф. с участием зарубежных специалистов «Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления» (Датчик-2001). — М.: МГИЭМ, 2001. — С. 309–310.

5. Серебренников С. В., Трушаков Д. В. Дослідження вихрострумів перетворювачів з П-подібним та стержневим осерддям // Фіз. методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. — 36. наук. праць Фіз.-мех. ін-ту ім. Г. В. Карпенка НАН України. — Львів. — 2005. — С. 126–130.

6. Деклараційний патент 34933А, Україна, МКІ G01N27/86. Спосіб повного відстроювання від впливу проміжку у вихорострумівій дефектоскопії феромагнітних виробів / Б. І. Ващенко, Д. В. Трушаков. — Кіровоград. держ. техн. ун-т. — Опубл. 15.03.2001.

7. Пат. 62570, Україна, МКІ G01N27/00, G01N27/90. Вихорострумівій дефектоскоп для контролю металевих виробів / В. Ф. Гамалій, В. Ф. Пашенко, Д. В. Трушаков. — Кіровоград. держ. техн. ун-т. — Опубл. 15.07.2005.

Кіровоград. нац. техн. ун-т

Поступила в редакцію
30.06.2006

ШОСТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ»

24–25 квітня 2007 р.

м. Київ, Україна

24–25 квітня 2007 р. у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ») відбулася Шоста науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи». Метою конференції було спілкування фахівців з питань перспективних розробок, прецизійних технологій, нових рішень в приладобудуванні, зустріч з керівниками провідних підприємств, формування спільних проєктів, пошук партнерів для співпраці.

Роботу конференції розпочав своїм привітанням декан приладобудівного факультету НТУУ «КПІ» д-р техн. наук, проф. Тимчик Г. С., побажавши її учасникам плідної співпраці та обміну досвідом у галузі приладобудування.

В межах конференції на кафедрі приладів та систем неруйнівного контролю НТУУ «КПІ» працювала секція «Неруйнівний контроль, технічна та медична діагностика». В роботі секції взяли участь більше тридцяти фахівців у галузі неруйнівного контролю з різних міст України. Серед них: д-р техн. наук, проф. Кісіль І. С., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ; д-р техн. наук, проф. Стороженко В. А., Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків; д-р техн. наук, проф. Марчук В. І., Луцький державний технічний університет, м. Луцьк; канд. фіз.-мат. наук Рижевич А. А., Інститут фізики ім. Б. І. Степанова НАН Білорусі, м. Мінськ; д-р техн. наук, проф. Мірошніков В. В., Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Луганськ; Козіна Ю. Ю., Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса та багато інших. Окрім названих гостей міста, свої доповіді представили і викладачі та студенти НТУУ «КПІ», зокрема кафедри приладів та систем неруйнівного контролю: д-р техн. наук, проф. Маєвський С. М., ст. викладач Лігоміна С. М., аспірант Гльойнік К. А., магістранти Мисюра О. П., Лисенко Ю. Ю., Юрченко Г. С., Юрченко О. С., Друзенко Н. В., а також інших ВНЗ м. Києва: Німченко Т. В. та Вітрук Ю. В., Національний авіаційний університет; Шевченко К. Л., Київський національний університет технологій та дизайну та ін.

Доповідачі у своїх виступах висвітлювали такі актуальні в наш час питання, як основні проблеми при розробці акустико-емісійних вимірювальних систем (доповідь Німченко Т. В.), методика теплової дефектоскопії об'єктів у вигляді тіл обертання (доповідь Стороженко В. А.), підвищення вірогідності та швидкодії приладів дефектоскопії ходової частини рухомого складу (доповідь Жученко Н. А., Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Луганськ) та багато інших проблемних питань сьогодення. Учасники конференції продемонстрували своє бачення проблем неруйнівного контролю, технічної та медичної діагностики, а також можливі шляхи їх вирішення.

Пропонуємо колегам взяти участь у роботі секції «Неруйнівний контроль, технічна та медична діагностика», що працюватиме у межах VII науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи», яка відбудеться у квітні 2008 р. (тел. оргкомітету секції: (044) 454-95-47).