

СЕКЦІЯ 7
НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, ТЕХНІЧНА ТА МЕДИЧНА
ДІАГНОСТИКА

УДК 620.179

РАЗВИТИЕ ВИХРЕТОКОВЫХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ
ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ

*Учанин В.Н., Физико-механический институт им. Г.В. Карпенка НАН Украины, г. Львов,
Украина*

Долгое время считалось, что вихретоковый метод неприменим для обнаружения подповерхностных дефектов из-за сильного влияния скин-эффекта. Такое мнение было справедливо для первых вихретоковых дефектоскопов, которые предназначались только для обнаружения поверхностных трещин и, в которых, соответственно, были применены достаточно высокие рабочие частоты. С другой стороны, влияние скин-эффекта действительно было достаточно сильно, а при попытках снизить его влияние переходом на низкие рабочие частоты снижалась чувствительность вихретоковых преобразователей (ВСП), в качестве которых применялись индуктивные катушки.

Но уже в 70-е годы в Физико-механическом институте НАН Украины были разработаны первые низкочастотные дефектоскопы, которые обеспечивали выявление подповерхностных дефектов залегающих на глубине до 7 мм. При этом было предложено ряд способов селективного обнаружения дефектов на заданной глубине, что позволило решать практические задачи обнаружения дефектов под обшивкой толщиной до 5 мм в многослойных авиационных конструкциях. Примерно в это время подобные приборы появились за рубежом.

В докладе представлены результаты новых исследований и разработок, связанные с повышением глубины обнаружения дефектов в вихретоковом контроле.

Наряду с известными параметрами, в частности, «стандартная глубина проникновения вихревых токов (ГПВТ)» и «реальная ГПВТ», предложены новые параметры - «ограниченная шумами глубина контроля» и «предельная глубина контроля». Новые параметры отражают реальные условия контроля, а также возможности вихретокового метода и конкретных средств дефектоскопии. Представлена методика определения этих параметров.

В докладе представлены новые низкочастотные мультидифференциальные (МДФ) ВСП серии Леотест МДФ, разработанные в Центре «Леотест-Медиум», а также результаты их исследований. Для новых ВСП предельная глубина контроля при обнаружении дефектов в алюминиевых сплавах составляет 12 мм (для ВСП типа 1501), 15 мм (для ВСП типа 1701) и 20 мм (для ВСП типа 3301), что принципиально расширяет возможности вихретоковой дефектоскопии. В

докладе представлено ряд нових задач, которые удалось решить с помощью низкочастотных ВСП серии Леотест МДФ. В частности, представлены результаты исследований сигналов ВСП разного типа при выявлении локальных дефектов типа пор в меди на глубине до 4 мм. Представленные результаты показали высокую эффективность ВСП типа МДФ 1201, что определяется необходимой глубиной контроля в сочетании с высокой разрешающей способностью необходимой при регистрации сигналов от локальных дефектов. Представлен вихретоковый динамический дефектоскоп для контроля латунных трубок диаметром 12 мм. Для реализации динамического метода разработан вращающийся сканер типа ГИРОТЕСТ 1/12, который обеспечивает вращение ВСП вокруг трубы со скоростью до 3 тыс. об./мин, а также передачу сигнала с вращающегося ВСП в блок дефектоскопа. Это позволило за счет оптимальной фильтрации сигнала ВСП обеспечить подавление влияния влияния края трубы и других мешающих факторов. Дефектоскоп обеспечивает высокую производительность контроля и возможность обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов непосредственно на краю. Порог чувствительности - дефект в виде сверления с плоским дном диаметром 0,5 мм и глубиной 0,3 мм на внешней и внутренней поверхности трубы.

Предложенные ВСП обеспечивают также повышение производительности контроля при контроле больших поверхностей, так как для них характерны 2 противоречивых требования: - широкая зона чувствительности сочетается с высокой разрешающей способностью. Кроме того, на основе новых ВСП обеспечена возможность обнаруживать трещины в ферромагнитных материалах через слой защитного покрытия толщиной до 7 мм.

В докладе представлены также новые результаты по применению новых датчиков для вихретоковой томографии объектов с дефектами, залегающими на глубине до 8 мм.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, вихревые токи, дефектоскопия.

УДК 620.179

ВИМІРЮВАННЯ ГЛИБИНИ ПОВЕРХНЕВИХ ТРІЩИН В ФЕРОМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛАХ ВИХРОСТРУМОВИМ МЕТОДОМ

Глабець С.М., Карась В.В., Рюшин В.В., НВФ "Ультракон", м. Київ, Україна

Для забезпечення високої якості продукції та підвищення ресурсу роботи устаткування необхідно підвищувати рівень неруйнівного контролю при виробництві та експлуатації різноманітного обладнання.

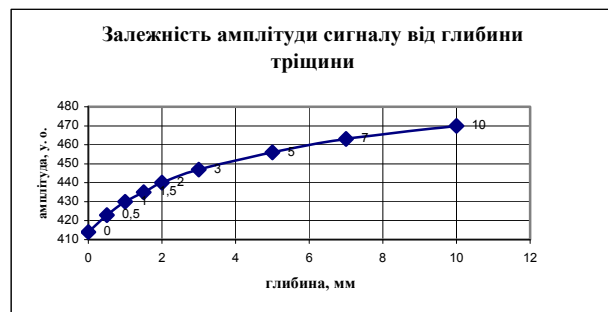
В даній роботі розглянуто питання виявлення найбільш поширеного дефекту - поверхневих тріщин. Для контролю наявності та одночасного

визначення глибини дефектів, оптимальним варіантом є використання вихрострумowego методу неруйнівного контролю.

Головною перевагою вихрострумowego контролю є те, що на корисний сигнал практично не впливають вологість, тиск, радіоактивні випромінювання, забруднення поверхонь непровідними речовинами, наявність покриттів.

Для забезпечення достатньої чутливості вихрострумовой перетворювача доцільно обрати трансформаторного типу з феромагнітним осердям для локалізації поля.

За результатами експериментальних досліджень з'ясовано, що: наявність дефекту в значній мірі впливає на амплітуду сигналу перетворювача, а не на фазу; на сигнал практично не впливає розкриття тріщини. Експеримент виконувався на сталюму взірцеві з штучними тріщинами глибиною від 0,5 до 10 мм., з довжиною тріщин більше подвійного діаметру перетворювача.



Зняті залежності амплітуди сигналу від глибини тріщини на різних частотах показали, що оптимальним варіантом для вимірювання глибини тріщин в діапазоні 0,5-10 мм є частота 10 кГц.

Теорія недостатньо пояснює залежність сигналу ВСП від глибини тріщини, частоти збудження та конструкції перетворювача, фізичних особливостей об'єкту контролю, тому теоретичні розрахунки були скоректовані експериментальними даними. Отримані результати були покладені в основу розробки вихрострумowego дефектоскопу з функцією вимірювання глибини тріщин.

Ключові слова: неруйнівний контроль, вихровий струм, дефектоскопія.

УДК 693.814.95:620.179.16

НОВАЯ ФУНКЦИЯ НАПРАВЛЕННОСТИ ПОЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

Давиденко В.Ф., г. Киев, Украина

В настоящее время для описания направленности поля ультразвуковых преобразователей используется функция Бесселя 1-го рода. Однако она обладает существенными недостатками при использовании в качестве

диаграммы направленности (ДН): 1) трудно вычисляется, 2) не интегрируется, 3) не преобразуется в прямоугольную систему координат, 4) дает ненужные так называемые боковые лепестки. В связи с этим для решения практических задач ультразвукового контроля пришлось синтезировать более подходящую функцию направленности поля ультразвуковых преобразователей. Был применен метод статистической физики, предполагающий наличие на поверхности пьезоэлемента независимых точечных излучателей, имеющих площади, равные квадрату половины длины волны, т.е. $\lambda^2/4$.

Тогда на поверхности пьезоэлемента диаметром d разместится $\pi d^2/\lambda^2 = \pi n$ независимых синхронно излучающих источников звука. Т.к. каждый такой источник имеет сферическую ДН, то их совместная ДН будет выражаться функцией $(\cos\varphi)^{\pi n}$. Если преобразователь используется в совмещенном режиме (излучение-прием), то его функция направленности будет иметь вид:

$$\Phi(\varphi) = (\cos\varphi)^{2\pi n}.$$

Произведен ряд следующих математических преобразований:

$$\Phi(\varphi) = (\cos\varphi)^{2\pi n} = (1 + \tan^2\varphi)^{-\pi n} = (1 + a^2/r^2)^{-\pi n} = (1 + nS/\pi nr^2)^{-\pi n} = \exp(-nS/r^2),$$

приведших к этому окончательному виду функции ДН, которая по результатам графического исследования хорошо сходится с квадратом функции Бесселя 1-го рода с аргументом $x = \pi\sqrt{n} \sin\varphi$.

Впервые полученная функция направленности поля ультразвуковых преобразователей обладает замечательными свойствами, позволяющими решать ряд практических задач, о постановке которых раньше не приходилось даже и мечтать:

1) тестировать преобразователи по самому важному параметру – максимальной дальности прозвучивания на основе формулы: $r_m = r \exp(nS_m/r^2)$, где S_m – площадь максимального дискового отражателя на расстоянии r от излучателя, равная поперечному сечению поля;

2) прочерчивать на экране дефектоскопа в координатах «отрицательные дБ - дальность» энергетическую границу поля конкретного преобразователя по формуле: $-D = 8,686 [\ln 2r + 1 - 2r + \ln(1 - r/r_m)]$, которая накладывается на АРД-диаграмму;

3) прочерчивать на экране дефектоскопа в координатах «эквивалентный размер дефекта – дальность» геометрическую границу поля конкретного преобразователя по формуле: $S_m = (r_m^2/n) z^2 \ln(1/z)$, являющуюся ДН конкретного преобразователя, где z – заданное расстояние в долях от r_m .

Ключевые слова: ультразвук, преобразователь, направленность, поле, дефект.

УДК 622.672.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Лютак І.З., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Термочутливість ультразвукового первинного перетворювача залежить від термічних та пружних властивостей чутливого елементу, проте такі параметри як товщина металу, та фільтри також змінюють термочутливість. Вплив металізації на термочутливість є на порядок меншим, проте у випадку алюмінієвих електродів, напилених на кварц ST чи X зрізу він є достатній для зміни точки симетрії залежності частота-температура.

Дослідження термочутливості ультразвукових первинних перетворювачів, було здійснено за методом опису збурення. Проте, дана модель не враховує ефект впливу металізації. Таку модель було запропоновано в праці Х. Ф. Тірстена та Б. К. Сінхи. Недоліком даного підходу є низька точність вимірювань (до 1 %).

При дослідженні було проведено аналіз збурень. Дана модель дає точний опис внутрішній термокомпенсаційних орієнтацій кристалу кварцу при збудженні ним поверхневих та об'ємних акустичних хвиль. Така модель об'єднує варіаційні рівняння з моделлю розповсюдження пружних хвиль без збурень і використовує значення похідної першого порядку за температурою від пружних констант. Для експериментів був використаний кварц, для якого дані константи є визначеними.

Чутливий елемент може бути в станах: природній, без будь-яких напружень та динамічних зміщень; початковий, який має статичне збурення викликане початковими напруженнями чи температурою; робочий стан, який є суперпозицією статичних та динамічних деформацій чутливого елементу.

За результатом досліджень отримано рівняння поширення хвиль Релея, яке є вдосконаленням моделі Х. Ф. Тірстена та Б. К. Сінхи :

$$-\rho'_0 \omega_0^2 u_i^0 = \frac{\partial O_{k1}^{noc}}{\partial x_1} + \frac{\partial O_{k2}^{noc}}{\partial x_2} = -j \frac{\omega_0}{V_0} O_{k1}^{noc} + \frac{\partial O_{k2}^{noc}}{\partial x_2}, \quad (1)$$

де ω_0 –кутова частота, що відповідає природному сану; u_i - динамічні збурення, ($i = 1,2,3$); ρ'_0 – густина шару металізації в незбуреному стані; V_0 – швидкість акустичної хвилі в ненапруженому шарі металізації; O_{k2}^{noc} - тензор напруження в шарі металізації в незбуреному стані, ($k=1,2,3$); x_i –координати.

Теоретично досліджено параметри ультразвукового первинного перетворювача та їх зв'язок з впливом температури, товщини шару металізації на фазову швидкість ультразвукових поверхневих хвиль, що дає змогу підвищити точність проектування та обробки результатів контролю.

Ключові слова: ультразвуковий первинний перетворювач, шар металізації, збурення, чутливий елемент.

УДК 621.3.537

ОБ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

*Шарапов В.М., Роттэ С.В., Бондаренко Ю.Ю., Черкасский государственный
технологический университет, г. Черкассы, Украина*

Электроакустические преобразователи (ЭАП) широко применяются в измерительной, вычислительной, бытовой технике. В качестве основы таких преобразователей используются асимметричные биморфные пьезоэлектрические преобразователи, содержащие пьезокерамическую и металлическую пластины преимущественно круглой или прямоугольной формы, соединенные между собой при помощи клея. Эти преобразователи обычно применяются в качестве измерителей расстояний, уровней, в системах охраны и т.п., как для излучения, так и для приема.

Круглые асимметричные биморфные преобразователи часто имеют «расщепленную» диаграмму направленности, что не позволяет использовать их для направленных излучателей и приемников. Поэтому были использованы преобразователи с металлическими пластинами прямоугольной и треугольной формы. Оптимальные соотношения площадей пьезоэлемента и металлической пластины, выбор формы, вида закрепления и частоты возбуждения этих преобразователей позволяют разрабатывать и изготавливать плоские ЭАП с максимальной чувствительностью и узким углом раскрыва центрального лепестка диаграммы направленности, а оптимизация гибкостей преобразователей позволяет увеличивать их КПД.

Объемные конструкции, построенные на основе треугольных и прямоугольных асимметричных биморфных преобразователей, позволяют получить еще более узкий угол раскрыва центрального лепестка диаграммы направленности. При этом мощность акустического сигнала на выходе объемных ЭАП имеет значительно большее значение, по сравнению с единичным плоским преобразователем.

По результатам разработки получен ряд патентов Украины.

Ключевые слова: асимметричных биморфных пьезокерамический преобразователь, форма металлической пластины, узкая дивграмма направленности, объемные электроакустические преобразователи.

УДК 620.179.14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАКЛАДНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МЕТАЛЛОДЕТЕКТОРА

*Швец С.Н., Мирошников В.В., Восточноукраинский национальный университет
им. В.Даля, г. Луганск, Украина*

Универсальной конструкцией металлодетектора является накладной

вихретоковый преобразователь, устанавливаемый над транспортной лентой. Учитывая, что выявляемые металлические предметы в подавляющем большинстве случаев имеют меньшие габаритные размеры, чем обмотка возбуждения и измерительная обмотка преобразователя, то при его расчете необходимо решать задачу с учетом краевого эффекта выявляемого объекта.

В качестве допущения примем, что выявляемый объект имеет форму плоского немагнитного цилиндра, и определим вектор-потенциал электромагнитного поля витка с током, расположенного над торцом данного цилиндра. Область, занимаемую выявляемым объектом, обозначим q , и будем искать вектор-потенциал в области V , окружающей выявляемый объект. Область q ограничена кусочно-гладкой поверхностью, а граничные условия – непрерывность вектор-потенциала и его нормальных производных, тогда вектор-потенциал A удовлетворяет интегральному уравнению [1]

$$A(r) + \frac{i\chi^2}{4\pi} \int_q \frac{A(r')dr'}{|r - r'|} = \frac{1}{4\pi} \int_V \frac{f(r')dr'}{|r - r'|} \quad (1)$$

где r – принадлежит области V ; $\chi^2 = \omega\mu_0\sigma$ – электродинамический параметр; f – функция распределения внешних токов в области V .

Функция $f(r)$ ограничена, так как токи занимают конечную область, поэтому уравнение (1) достаточно решить для внутренней области q и по полученным данным определить вектор-потенциал во всей области V . Интегральный оператор $\frac{1}{|r - r'|}$ является непрерывным и положительным, следовательно,

имеется возможность однозначного решения уравнения (1) в области q [2]. В цилиндрической системе координат уравнение (1) запишется в следующем виде

$$A_\varphi + i\chi^2 \int_q Q(\rho, \rho'; z - z') A_\varphi \rho' d\rho' dz' = F(\rho, z), \quad (2)$$

$$A_\rho + i\chi^2 \int_q Q(\rho, \rho'; z - z') A_\rho \rho' d\rho' dz' = 0. \quad (3)$$

При асимметричном расположении выявляемого объекта и источника тока компонента $A_\rho = 0$, и остается только уравнение (2), которое решается методом последовательных приближений.

Результаты расчетов показывают, что краевой эффект оказывает наибольшее влияние на вносимый сигнал, когда радиус токовой обмотки в 1,5–2 раза превышает радиус выявляемого объекта. Однако обобщенный параметр β должен находиться в пределах 5–10, что позволяет работать на частотах до 10 кГц.

Ключевые слова: металлодетектор, накладной вихретоковый преобразователь, вектор-потенциал, краевой эффект.

УДК 620.179.16

ОЦІНКА ЯКОСТІ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Маєвський С.М., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

Метою нашої роботи є розробка методики апіорного визначення параметру якості контролю. Якщо критеріальною оцінкою вимірювання фізичних величин є точність, що визначається похибкою вимірювання, то аналогічною оцінкою контролю є вірогідність (reliability), що визначається як:

$$R = 1 - (P_1 + P_2),$$

де P_1, P_2 - імовірності помилок контролю відповідно першого та другого роду.

При визначенні сумарної похибки вимірювання важливим є розділення похибок на систематичні та імовірні. Сумарне значення систематичних складових похибок Δ_i знаходимо шляхом арифметичного складання:

$$\Delta = \sum_{i=1}^N \Delta_i$$

Імовірні складові похибок при аналізі точності вимірювання представлені своїми граничними значеннями та законами розподілу густини їхньої імовірності. Сумарне середньоквадратичне відхилення імовірної похибки знаходимо шляхом геометричного складання значень середньоквадратичних відхилень складових похибок.

Розглядаючи ряд середньоквадратичних відхилень складових похибок, як ряд імовірних чисел з нормальним законом розподілу, граничне значення сумарної імовірної похибки вимірювання визначаємо, як:

$$\pm \delta_{\text{гран.}} = \pm 3\sigma_{\text{сум.}} = \pm 3\sqrt{\sum_{j=1}^K \sigma_j^2}$$

Розглянемо визначення помилок контролю для нормального закону розподілу фізичного параметра:

$$P_{\text{ном.}} = \int_{X_n}^{X_n + |\Delta|} P(x) dx + 0.5 \cdot \int_{X_n + |\Delta| - \delta_{\text{гран.}}}^{X_n + |\Delta| + \delta_{\text{гран.}}} P(x) dx + \int_{x_e}^{x_e + |\Delta|} P(x) dx + 0.5 \cdot \int_{X_e + |\Delta| - \delta_{\text{гран.}}}^{X_e + |\Delta| + \delta_{\text{гран.}}} P(x) dx$$

Прийнята у всьому світі оцінка якості виконання операцій вимірювання і контролю, що дістала назву “вірогідність контролю”, добре виконує свою функцію у випадку, коли сумарна похибка вимірювання параметру значно менша за ширину зони норми на параметр контролю:

$$|\Delta_{\text{сум.}}| \ll (X_e - X_n)$$

Якщо величина похибки вимірювання і ширина зони норми є співрозмірні, не дивлячись на високе значення розрахункової вірогідності результатом контролю є брак. В зв'язку з цим автором пропонується інший підхід до визначення критерію якості контролю – будемо іменувати цей новий критерій

відносною вірогідністю контролю R_0^+ . Оцінку відносної вірогідності контролю доцільно було б визначати, як відношення визначеної імовірності помилки контролю до імовірності встановленої норми на контрольований параметр за виразом:

$$R_0^+ = 1 - \frac{P_{\text{пом.}}}{P_{\text{норм.}}}, \quad \text{де} \quad P_{\text{норм.}} = \int_{X_n}^{X_g} P(x) dx$$

Ключові слова: вимірювання, контроль, похибка, вірогідність контролю.

УДК 621.317

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН В ТВЁРДЫХ МАТЕРИАЛАХ

*Галаненко В.Б., Давыдовский Р.Г., Луценко Г.Г., НПФ «Ультракон-Сервис»,
г. Киев, Украина*

Представлено описание устройства для измерения скорости продольных волн в твёрдых материалах в диапазоне частот от 1 до 10 МГц. Для определения скорости упругих волн используются результаты измерения интервалов времени между короткими импульсами из серии последовательных отражений внутри твёрдого образца известной толщины, погружённого в жидкость. Рассмотрена методика метрологической аттестации этого устройства.

В отсутствие эталонных образцов с известной скоростью упругих волн в них предлагается методика аттестации, основанная на детальном исследовании погрешностей измерения, которые удаётся разбить на две группы: погрешности, связанные только с образцом, и погрешности, связанные только с работой устройства. Во вторую группу входят: погрешности, обусловленные неточным позиционированием акустической оси ультразвукового датчика перпендикулярно грани образца, ошибки измерения временных интервалов при использовании АЦП с ограниченной разрядностью и частотой дискретизации с учётом аддитивного шума, дифракционная погрешность и погрешности, связанные с медленным дрейфом параметров электронного тракта прибора в установившемся режиме. Погрешности второй группы исследовались на основе выведенных расчётных соотношений, на основе компьютерного моделирования процесса измерения и экспериментально при натурных испытаниях. Исследовались четыре варианта измерения временных интервалов при наличии шума: по первичным отсчётам АЦП, по отсчётам на выходе цифрового восстанавливающего фильтра, с применением интерполяции кубическим сплайном и по вычисленным значениям нуль-пересечений.

Исследования показали, что при использовании 8-разрядного АЦП с частотой дискретизации 100 МГц погрешность измерения не превосходит 0.03 – 0.05 %.

Ключевые слова: скорость упругой волны, измерение временных интервалов, метрологическая аттестация

УДК 621.317

АНАЛІЗ ПРЕЦИЗІЙНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ УЛЬТРАЗВУКУ

Баженов В.Г., Лігоміна С.М., Національний технічний університет України, “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

На сьогодні дуже гостро повстало питання оцінки залишкового ресурсу конструкцій та виробів. Тому все більше уваги приділяється методам неруйнівного контролю, що дозволяють визначити фізико-механічні властивості ОК. Серед існуючих методів найбільш перспективним є застосування ультразвукових методів, в основу яких покладено вимірювання швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі.

Існує безпосередній зв'язок між швидкістю ультразвуку та фізико-механічними властивостями об'єкту контролю, його температурою, фізичними та хімічними процесами, які проходять в ньому. Найбільш поширеним методом визначення швидкості ультразвуку є метод прямого вимірювання часу розповсюдження ультразвуковому імпульсу від одного перетворювача до другого або до нього ж самого (луна-імпульсний метод).

Вірогідність контролю даним методом залежить від похибки вимірювання часу.

Для прецизійного вимірювання часу розповсюдження в неруйнівному контролі застосовують декілька груп методів: автоциркуляційний, кореляційний, метод нахилу фазової кривої, імпульсно-фазовий метод.

На відміну від лабораторних умов, де вплив завад можна мінімізувати, в практичних умовах завади вносять досить великий вклад у похибку вимірювань. В відомих авторах літературних джерелах аналіз впливу завад на похибку вимірювання або відсутній, або виконано при умови, що рівень сигналу значно перевищує рівень завади.

Тому дослідження впливу завад на похибку вимірювання є досить актуальним питанням.

В роботі приведено порівнювальний аналіз даних груп методів. В якості критеріїв було обрано похибку вимірювання та завадостійкість.

Для вирішення завдання автори застосували комп'ютерне моделювання.

Отримані результати досліджень дозволяють зробити висновок о перспективності застосування імпульсно-фазового методу вимірювання швидкості ультразвуку.

Ключові слова: швидкість ультразвуку, імпульсно-фазовий метод, похибка вимірювань

УДК 620.179

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ ПРИ КОНТРОЛЕ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Онгирская Н.Г., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

В теории вихретокового метода неразрушающего контроля основным расчетным информативным параметром, определяющим влияние проводящего объекта контроля (ОК) на изменение комплексного сопротивления катушки датчика, является вносимое сопротивление (напряжение).

На протяжении последних лет автором было опубликовано ряд работ, посвященных вопросу создания модели области распространения вихревых токов в ОК в виде пластины и прутка. Предложено смоделировать область вихревых токов набором короткозамкнутых витков, объединенных в катушку индуктивности, витки которой повторяли бы как ориентацию вихревых токов относительно поверхности образца, так и геометрию их линий. В таком случае, сопротивления, вносимые исследуемым образцом в катушку индуктивности ВТП, могут быть рассчитаны в соответствии со схемой воздушного трансформатора:

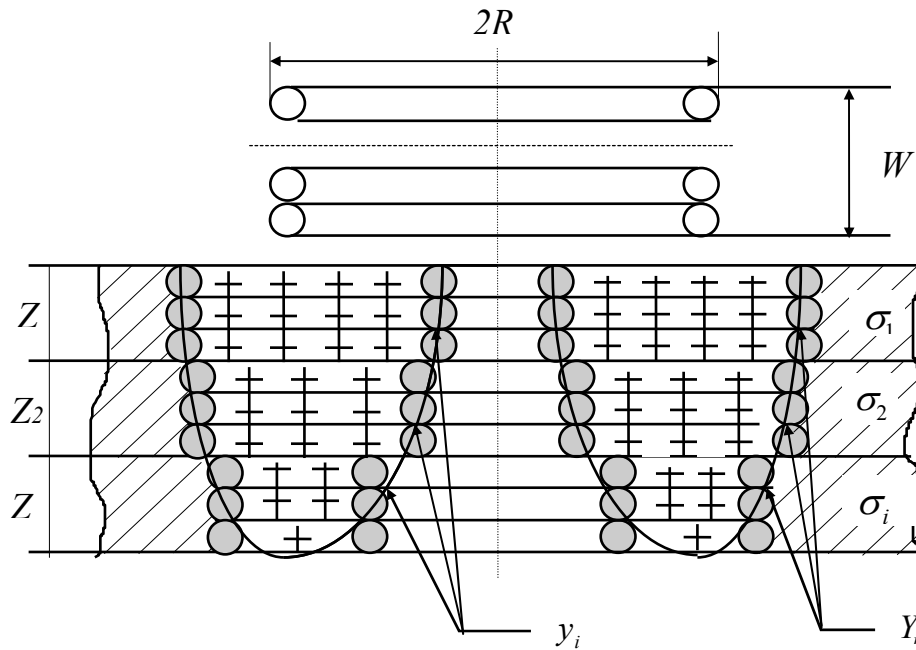
$$R_{\text{вн}} = \frac{\omega^2 M^2}{R^2 + X^2} R, \quad X_{\text{вн}} = \frac{\omega^2 M^2}{R^2 + X^2} X,$$

где ω - частота тока возбуждения вихретокового преобразователя, M - взаимная индуктивность катушки датчика и смоделированной катушки; R - активное сопротивление смоделированной катушки, определяемое как сумма сопротивлений смоделированных замкнутых витков, выполненных из материала контролируемого образца; X - реактивное сопротивление смоделированной катушки.

Используя функцию плотности вихревых токов, были найдены уравнения для определения области ОК, на границе которой относительная плотность вихревых токов была бы равна плотности на глубине проникновения вихревых токов в материал.

В данной работе предлагается применить разработанную методику для случая контроля многослойного объекта. В первом приближении (для быстрого приблизительного расчета) можно допустить, что при расчете параметров, вносимых многослойной конструкцией, каждый лист (слой) ОК моделируется в виде цилиндрической многослойной катушки, диаметр провода которой равен диаметру провода ВТП, а количество витков V_i определяется через отношение толщины слоя к диаметру провода.

Но более точный расчет возможен при моделировании области проникновения вихревых токов в материал ОК набором плоских многослойных (спиральных) катушек.



В случае контроля слоистой структуры, материал каждого слоя (листа) которой отличается по электропроводности и толщине, выражения для функций внутреннего $y_i(z_i)$ и внешнего $Y_i(z_i)$ радиусов записывается для каждого слоя (листа):

$$y_1(z_1) = \rho_1(z_1, \delta_1), \quad Y_1(z_1) = \rho_2(z_1, \delta_1) \quad \text{при } z_1 \in [0, Z_1];$$

$$y_2(z_2) = \rho_1(z_2, \delta_2) \frac{\rho_1(Z_1, \delta_1)}{\rho_1(Z_1, \delta_2)}, \quad Y_2(z_2) = \rho_2(z_2, \delta_2) \frac{\rho_2(Z_1, \delta_1)}{\rho_2(Z_1, \delta_2)} \quad \text{при } z_2 \in [Z_1, Z_2];$$

$$y_i(z_i) = \rho_1(z_i, \delta_i) \frac{\rho_1(Z_{i-1}, \delta_{i-1})}{\rho_1(Z_{i-1}, \delta_i)}, \quad Y_i(z_i) = \rho_2(z_i, \delta_i) \frac{\rho_2(Z_{i-1}, \delta_{i-1})}{\rho_2(Z_{i-1}, \delta_i)} \quad \text{при } z_i \in [Z_{i-1}, Z_i].$$

Далее алгоритм расчета вносимых параметров аналогичен разработанному ранее. Используя такую модель можно рассчитать вносимые параметры при возникновении трещины в любом из слоев, а также составить алгоритм обнаружения местоположения трещины в зависимости от найденных (измеренных) значений вносимого сопротивления катушки датчика.

Ключевые слова: вихретоковый контроль, вихревые токи, вносимое сопротивление, моделирование.

УДК 681.325

КОНТРОЛЬ ЗАРОДЖЕННЯ ТРІЩИНИ В МЕТАЛАХ ЗА ОЦІНКОЮ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ПЕРЕХІДНОМУ ПІДПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ

Габльовська Н.Я., Кононенко М.А., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

Характер порушення суцільності кристалічної будови металів та утворення

в них мікротріщин при пластичній деформації визначаються властивостями самих металів. Найбільший інтерес представляють лінійні дефекти: ланцюги вакансій, міжвузлових атомів і дислокацій. Дислокації є особливим видом дефектів в кристалічній ґратці, які утворюються в процесі пластичної деформації, а їх рух викликає, в кінцевому рахунку, зародження тріщини. При пластичній деформації рух дислокацій з однієї атомної площини в іншу можна розглядати як дифузійний процес в перехідному підповерхневому шарі, де і відбувається зародження тріщини.

Дія навантаження на метал призводить до безперервного збільшення в ньому густини дислокацій, а метал при цьому, переходить з пружного стану в пластичний. При досягненні критичного значення густини дислокацій утворюється рихла аморфна структура, яку з точки зору теорії фракталів можна описувати як фрактальну, що має дробову розмірність.

Утворення тріщини в даному випадку можна вважати процесом виникнення двох нових двовірних поверхонь на місці тривимірного об'єму: тріщини, як двох поверхонь з розмірністю 2 і перехідного шару з просторовою розмірністю, що змінюється від 3 до 2.

Енергія перехідного під поверхневого шару має максимальне значення із всіх значень енергії граничних зон структурних елементів металу. Саме в цьому шарі активізується процес дифузії дислокацій і, за рахунок їх переміщення і об'єднання, відбувається трансформація їх енергії в поверхневу енергію тріщини, що супроводжується локальним підвищенням температури на поверхні металу, яке піддається реєструванню. Закінчення процесу формування перехідного підповерхневого шару характеризується утворенням нової поверхні – тріщини.

Таким чином оцінка поверхневої енергії тріщини за локальним підвищенням температури поверхні напружено-деформованого тіла дозволяє контролювати момент зародження тріщини на стадії формування перехідного підповерхневого шару.

Ключові слова: дислокація, пластична деформація, перехідний підповерхневий шар, тріщина, фрактальна структура, розмірність, поверхнева енергія.

УДК 681.325

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ЯК ІНФОРМАТИВНОГО ПАРАМЕТРУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ РОЗВИТКУ МІКРОТРИЩИН

*Габльовська Н.Я., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і
газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

Процес зародження та розвитку мікротріщин за суттю своєю визначається енергетичними змінами в структурі металу які, у свою чергу, викликають зміну

температури на поверхні. Причому ця зміна характеризується короткочасністю і, враховуючи навіть той факт, що тепловий процес як високоінерційним, значною динамічністю. З метою встановлення залежності температури поверхні від значення прикладеного навантаження, що спричиняє зародження тріщини, було проведено ряд експериментів.

Дослідження проводили на розривній машині типу УММ-50. Дані отримували за допомогою спеціально створеного пристрою, до складу якого входить температурний мікросенсор, сигнал від якого по багатокаскадній схемі, базованій на двох різних інвертуючих каскадах, з використанням прецизійних підсилювачів, подається на вторинний прилад – вольтметр. Для експериментальних досліджень було виготовлено дві серії зразків з різних типів сталі. Мікросенсор встановлювали на зону ймовірного утворення дефекту – мікротріщини. Збільшення навантаження на сталевих зразках (Ст20) понад 7,15т призвело до стрибкоподібної зміни показів вторинного приладу (зміни температури). Після стрибкоподібної зміни показів вторинного приладу подача навантаження припинялась і дослідні зразки перевірялись на наявність несутільностей рентгенівським та акустичним методами контролю, а також з допомогою мікроскопу, що дало можливість виявити наявність мікротріщин порядку 10 мк.

Отримані результати підтверджують, що при накопиченні напружень до певного граничного значення в металі утворюється мікродефект, що характеризується стрибкоподібною зміною температури поверхні.

Отримані дані є основою для створення математичної моделі з метою прогнозування процесу утворення та розвитку втомних тріщин, а також, дають можливість сформулювати основні вимоги опосередкованого контролю металічної конструкції у напружено-деформованому стані.

Ключові слова: мікротріщина, температура, опосередкований контроль.

УДК 620.179.16

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПРЕЦИЗІЙНОЇ ОЦІНКИ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ В МАТЕРІАЛІ КОНСТРУКЦІЙ ПІД ВПЛИВОМ ДЕФОРМУЮЧИХ СИЛ

*Маєвський С.М., Національний технічний університет “Київський політехнічний
інститут”, м. Київ, Україна*

Робота присвячена проблемі оцінки напружено-деформованого стану елементів конструкцій продуктопроводів під дією навантажень, що здатні з’являтися в результаті зміни геологічних умов експлуатації – зсувів ґрунту, промійн, тощо. Аналогічні проблеми мають місце і для інших конструкцій, що експлуатуються при великих механічних навантаженнях на окремі елементи. Вимірювання деформації поверхневого шару елементів конструкцій

традиційними тензорезистивними первинними перетворювачами не забезпечує потрібної для багатьох випадків роздільної здатності.

В роботі розглянуті можливості використання альтернативних перетворювачів на основі ультразвукових вимірювачів мікро-деформацій, здатних вимірювати, як власне величину деформації на певній невеликій базі, так і швидкість ультразвукових коливань оцінюючи при цьому модуль і напрямок вектора напруження в металі.

Особливістю методів визначення параметрів напруженого стану шляхом вимірювання швидкості розповсюдження ультразвукових коливань є те, що в реальних сталених конструкційних матеріалах варіація ультразвукової швидкості за рахунок напруження матеріалу при його деформації є відносно невеликою. Це відповідно підвищує вимоги до точності вимірювання швидкості, яка виходячи з даних спеціальної технічної літератури має бути не нижчою за 0.01%.

Враховуючи приведені вимоги та те, що швидкості відповідає результат ділення довжини шляху розповсюдження коливань L на часову затримку цих коливань τ , похибка вимірювання цих величин не повинна бути нижчою теж за 0.01%. Якщо значення L можливо визначити з наведеною вище точністю з допомогою засобів лінійних вимірювань, то визначення часу затримки коливань τ з такою високою точністю є проблематичним.

Нами розроблені методи прецизійного визначення часу запізнення радіо-імпульсних коливань на основі вимірювання фазового зсуву цих коливань відносно опорної фази когерентного синусоїдального електричного коливання. Таким опорним коливанням є синусоїдальна напруга генератора, а радіо-імпульсні коливання формуються з цієї ж напруги з допомогою ключа. При цьому довжина радіо-імпульсного коливання має бути не менш за 10 – 15 періодів коливання опорної напруги.

Часовий інтервал τ запізнення коливань частоти ω та довжини хвилі λ на шляху розповсюдження L визначається через значення кумулятивного фазового зсуву θ , як:

$$\tau = \frac{\theta}{\omega},$$

де $\theta = \frac{L}{\lambda} \cdot 2\pi = N \cdot 2\pi + \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 2\pi = N \cdot 2\pi + \varphi$. Тут N – ціле число фазових циклів в значенні кумулятивного фазового зсуву θ .

Далі в роботі показані спосіб визначення N та метод вимірювання фазового зсуву радіо-імпульсного коливання. Показані принципи побудови систем прецизійного визначення ультразвукової швидкості, як мірила напруження в металі внаслідок його деформації.

Особлива увага в даній роботі приділена можливості прецизійного визначення значення швидкості розповсюдження повздовжніх і поперечних ультразвукових коливань при їх нормальному вводиті в матеріал об'єкту контролю, що досягається одночасним визначенням і часу запізнення коливань, і довжини

шляху їх розповсюдження. Визначення довжини шляху розповсюдження коливань реалізується з допомогою спеціальних ультразвукових перетворювачів та вимірюванням кумулятивних фазових зсувів коливань.

Ключові слова: ультразвукові коливання, деформація, механічні напруження, кумулятивний фазовий зсув коливань.

УДК 621.317

РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ІНДУКТИВНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ ПІДЗЕМНИХ МЕТАЛЕВИХ ТРУБОПРОВОДІВ

*Стрілецький Ю.Й., Івано-Франківський національний технічний університет нафти
і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

Для контролю якості ізоляційного покриття підземних металевих трубопроводів використовують індуктивні методи. До трубопроводу приєднують генератор струму інший електрод якого заземляють. Контролюючи струм, що натікає з генератора вздовж трубопроводу визначають місця де струм витікає в ґрунт. При цьому важливо визначити струм саме підключеного генератора відділяючи його від блукаючих струмів, що натікають в трубопровід.

Враховуючи частотні властивості сигналів завад частоту генератора вибирають в діапазоні де щільність спектра сигналу завади найменша. Оскільки частотні властивості завади різні в різних випадках то оптимально виділити сигнал власного генератора важко. Додатково використовують амплітудно-модульований сигнал. Однак такий сигнал аналізується, в основному, оператором на слух і тільки для пошуку траси трубопроводу.

Відомо, що для виділення корисного сигналу на фоні завад необхідно щоб коваріаційна залежність між сигналом і завадою прямувала до 0. Оскільки трубопровід досить довга споруда, то по ній протікає струм дуже складної форми. Особливо складно відділити струми утворені дровим радіомовленням, оскільки спектр їх частот майже рівномірно розподілений в діапазоні від приблизно 100 Гц до 7 кГц. Нижче 100 Гц потужною завадою є мережа живлення 50 Гц із великою кількістю гармонік.

Для кращого виділення сигналу генератора на тлі завад варто використовувати передачу амплітудно- чи фазо-модульованого сигналу. При цьому для передачі використовувати кодову послідовність яка не буде корелювати із сигналами завад. Збільшення довжини коду буде зменшувати коваріацію сигналу і завади. Енергія власного генератора визначається за допомогою часового селектора чи фазообертача.

Використання кодової передачі сигналу дозволяє підвищити точність визначення характеристик ізоляційного покриття трубопроводів і розширить можливості контролю.

Ключові слова: ізоляція трубопроводів, контроль, стан покриття трубопроводів, індукційний, коваріація.

УДК 620.179.143

МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ СТЕРЖНЕЙ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ РОТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Гречишкина Н.В., Победа Т.В., Абу Шакра Марван, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина

После заливки бочки короткозамкнутого ротора алюминиевым или медным сплавом, происходит обрыв или утоньшение нескольких стержней клетки ротора. Данные дефекты выявляются только в собранной электрической машине, когда она испытывается под нагрузкой. Поэтому существует насущная необходимость контроля целостности стержней ротора непосредственно после заливки. Так как сопротивление стержня составляет $10^{-8} - 10^{-9}$ Ом, то измерить непосредственно их сопротивление не представляется возможным, тем более, что это не дает возможность выявлять место дефекта.

Разработана теория и создана установка для контроля стержней ротора по создаваемому стержнями магнитному полю. Чтобы исключить влияние магнитопровода ротора на результаты контроля, весь ротор помещается в постоянное магнитное поле, создаваемое катушками Гельмгольца. К торцам ротора подводится переменное напряжение частотой 5 Гц, которое индуцирует магнитное поле стержней. Это поле регистрируется блоком феррозондовых преобразователей, которые сканируют поверхность ротора. Таким образом, применение низкочастотного магнитного поля позволяет отстроиться от влияния постоянных полей и контролировать стержень на всю его глубину залегания.

Выходное напряжение второй гармоники феррозонда, при условии, что измеряемое поле меньше поля возбуждения $H_{изм.} \ll H_B$, определяется по формуле

$$U_2(t) \approx \frac{2H_{изм.}H_B^2\psi_{m2}\sigma^3\omega}{1+\sigma^2H_B\sin^2\omega t}\sin 2\omega t, \text{ где } \psi_{m2} = W_2S\frac{2}{\pi}B_S; \quad \sigma = \frac{m\pi\mu_0}{2B_S};$$

W_2 – число витков выходной обмотки феррозонда;

S – сечение сердечника феррозонда;

B_S – индукция насыщения сердечника;

m – проницаемость формы сердечника.

Полученные данные поля каждого сердечника заносятся в память компьютера, где сравниваются между собой и с расчетными данными. При отклонении значения поля стержня от расчетного по модели рассчитывается параметр стержня и выявляется причина, которая привела к аномалии поля. Величина низкочастотного поля на поверхности контролируемого ротора составляет 3 – 15 А/м, это обеспечивает выходной сигнал феррозонда на второй

гармонике порядка 25–100 мВ при амплитуде поля возбуждения 8000 А/м и длине сердечника 5 мм.

Опытная установка магнитного контроля роторов проходит испытания на ОАО “Первомайском электромеханическом заводе”.

Ключевые слова: короткозамкнутый ротор, магнитный контроль, блок феррозондовых преобразователей.

УДК 620.178.15

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ МАТЕРІАЛІВ

Ігнатович С.Р., Закієв І.М., Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Прилад призначений для дослідження фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалів методами безперервного вдавлювання індентора, сканування, металографії та топографії.

Метод безперервного вдавлювання індентора базується на автоматичній реєстрації навантаження на індентор (P) та глибини його проникнення (h) в поверхню матеріалу.

Отримується діаграма навантаження $P=f(h)$, автоматизована обробка якої дозволяє одержувати принципово нову, у порівнянні зі стандартним методом іспитів на мікротвердість, інформацію. А саме: здійснювати дослідження мікротвердості у діапазоні малих та надмалих навантажень; вивчати особливості мікродеформації матеріалів по кінетиці вдавлювання індентора; реєструвати мікроповзучість матеріалів; вимірювати градієнт властивостей по глибині вдавлювання; випробувати м'які (полімерні) матеріали, а також матеріали, у яких відбиток суттєво змінює розміри після зняття навантаження; вимірювати крихкість та пружність матеріалів.

Метод сканування базується на безперервній реєстрації опору руху індентора по поверхні з заданим навантаженням. Визначення та автоматизована обробка статистичних характеристик опору локальних мікрооб'єктів матеріалу контактному деформуванню дозволяє зробити комплексну оцінку стану поверхневого шару на трасі сканування. Зокрема: оцінювати середню міцність поверхневого шару на трасі сканування; оцінювати розкид і неоднорідність твердості; моделювати елементарні акти процесів тертя та зношення.

Метод металографії базується на реєстрації зображення за допомогою оптичного мікроскопу з вмонтованою цифровою відеокамерою та автоматизованій обробці зображення. Метод дозволяє здійснювати кількісний аналіз зображення, ідентифікацію неметалічних включень, аналіз пористості; аналіз структури зерен; фазовий аналіз; реєстрацію в динаміці процесів руйнування та тріщиноутворення.

Апаратне та програмне забезпечення дозволяє будувати тривимірну модель профілю поверхні по чотирьох чи восьми зображеннях, які отримуються при взаємноперекресному освітленні під різними кутами.

Метод топографії заснований на скануванні поверхні індентором при мінімальному навантаженні на індентор (10^{-3} Н) з наступною обробкою профілограф. Це дозволяє реєструвати параметри шорсткості поверхні та будувати тривимірний профіль поверхні.

Ключові слова: мікротвердість, стан поверхневого шару, сканування індентором, топографія,

УДК 621.383

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВИХ КООРДИНАТ ДЕФЕКТІВ ПРИ НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ ПРИЛАДІВ НА БАЗІ ПЗЗ-МАТРИЦЬ

*Галаган Р.М., Серий К.М., Національний технічний університет України, “Київський
політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Автоматичне визначення координат дефектів при неруйнівному контролі (НК) необхідне для документування результатів контролю з метою підвищення об'єктивності контролю та проведення моніторингу виявлених “некритичних” дефектів.

Розглянуто спосіб визначення координат вихрострумового перетворювача дефектоскопу (ВПД). Метод базується на визначенні просторових координат двох точкових джерел світла (світлодіодів), що встановлені на одній осі з ВПД на фіксованій відстані одне від одного та від ВПД. Світловий потік від джерел фіксується цифровим фотоапаратом (таких фотоапарата два, причому розташовані вони на базовій фіксованій відстані паралельно поверхні контролю, кут розхилу бази між фотоапаратами 120°). Далі отримана інформація (цифрове зображення) зчитується в комп'ютер, оброблюється і визначається положення зображення точкових джерел світла на цифровому знімку. Положення цих зображень при використанні формул перерахунку відповідає реальному положенню джерел в просторі ($X_1; Y_1; Z_1$) та ($X_2; Y_2; Z_2$). Знаючи координати джерел світла та довжину ВПД, визначаємо координати ВПД ($X_0; Y_0; Z_0$) за рівнянням прямої у просторі.

Визначення координат проходить в межах плоского квадрату зі стороною 500мм (тобто, $X=0..500\text{мм}$, $Y=0..500\text{мм}$), координата Z змінюється від 0 мм до 250 мм.

Документування результатів контролю дозволяє перевіряти якість проведеного контролю та підвищує його об'єктивність.

Ключові слова: прилад з зарядовим зв'язком (ПЗЗ), ПЗЗ-матриця, неруйнівний контроль, координати ВПД, цифровий фотоапарат.

УДК 621.386.7

СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ РЕНТГЕНІВСЬКОЇ ПЛІВКИ

*Кісіль І.С., Витвицька Л.А. Івано-Франківський національний університет нафти і газу,
м.Івано-Франківськ, Україна*

Оброблення експонованої рентгенівської плівки включає її проявлення, промивання проточною водою і фіксування. На даний час промисловістю випускаються готові набори хімікатів: стандартні проявник, відновлювач і фіксаж, виготовлені із інгредієнтів високої кондиції, розчинених у дистильованій воді. Однак проявлення в такому проявнику з дотриманням вказаних у довідниках стандарних значень температури і часу проявлення у багатьох випадках не забезпечує необхідну чутливість плівки, а значить, знижує якість рентгенівського контролю.

Запропонований спосіб підвищення рентгенографічної чутливості плівки при зниженні густини вуалі, що підвищить якість всіх видів рентгенівського контролю при технічних та медичних дослідженнях. Це досягається тим, що при стандартних операціях проявлення, промивання і фіксування плівки в проявнику попередньо і під час проявлення збуджують ультразвукові коливання. Для цього п'єзоелектричний перетворювач, що представляє собою розміщену в корпусі одну або декілька паралельно з'єднаних п'єзоелектричних пластин, підключають до генератора ультразвукових коливань і занурюють в проявник. Потужність ультразвукового випромінювання, а також час попереднього опромінення проявника залежать від об'єму останнього і від температури оточуючого середовища. Так, при температурі $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ для проявлення плівки в стандартному танку і проявнику протягом 10-15 хвилин попередньо і під час оброблення збуджують неперервні ультразвукові коливання частотою 0,1-2,5 МГц потужністю 1 Вт.

Досягнення позитивного ефекту при здійсненні запропонованого способу підтверджується результатами визначення за допомогою мікрофотометра коефіцієнтів пропускання і щільності плівок, проявлених при стандартних умовах і при обробленні ультразвуком. Промивання і фіксування плівок проводились стандартно. Коефіцієнт щільності експонованої плівки при обробленні запропонованим способом зріс на 21% при часі експонування 0,1 с, а коефіцієнт пропускання неекспонованої плівки зріс на 9%, що свідчить про зниження щільності вуалі.

Даний спосіб дозволить підвищити чутливість рентгенографічного контролю при технічній діагностиці, а також зменшити променеве навантаження на пацієнта при медичній діагностиці.

Ключові слова: рентгенівська плівка, ультразвукові коливання, коефіцієнт щільності, коефіцієнт пропускання.

УДК 535.34; 535.376

НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЗАЛИШКОВИХ ДОМІШОК У КРИСТАЛАХ САПФІРУ

¹⁾Блецкан Д.І., ²⁾Маслюк В.Т., ²⁾Парлаг О.О., ³⁾Лук'яничук О.Р., ³⁾Пекар Я.М.,
¹⁾Науково-виробнича фірма “Технокристал”, м. Ужгород, Україна, ²⁾Інститут
електронної фізики НАН України, м. Ужгород, Україна, ³⁾Ужгородський національний
університет, м. Ужгород, Україна

Монокристали спеціально нелегованого $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, вирощені з розплаву із використанням промислових технологій, містять цілу гамму власних та домішкових точкових дефектів. Дефектність структури кристалів сапфіру істотно впливає на їх оптичні властивості, а наявність неконтрольованих домішок приводить до зменшення пропускання в УФ-області, світлорозсіювання та забарвлення кристалів.

В роботі, на прикладі блакитних та зелених світлодіодів (СД), виготовлених на базі гетероструктур InGaN/AlGaIn/GaN , вирощених на сапфірових підкладках, показано вплив залишкових домішок Cr^{3+} у підкладці на спектральні характеристики СД. Враховуючи, що іони Cr^{3+} в кристалах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ є ефективними центрами поглинання і люмінесценції, доцільно використовувати фотолюмінесценцію в R-лініях (694,3 і 692,8 нм) при збудженні випромінюванням *He-Ne* лазера в якості експрес-методу визначення вмісту хрому як у вихідній сировині, так і в об'ємних кристалах і сапфірових підкладках. Достовірну інформацію про наявність в кристалах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ власних дефектів типу F- та F^+ -центрів можна почерпнути із спектрів рентгенолюмінесценції (РЛ) за характерними смугами 206 та 230 нм. РЛ дозволяє виявити також наявність іонів Ti^{3+} у кристалах сапфіру за характерною для цієї домішки широкою смугою у спектрі випромінювання з максимумом при 750 нм.

Крім вихідної сировини ще одним джерелом «забруднення» кристалів сапфіру є вольфрам-молібденові тиглі і молібденові екрани теплового вузла, в яких здійснюється процес вирощування. Оскільки домішки Mo і W в кристалах $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ не проявляються в спектрах оптичного поглинання і люмінесценції, то для їх виявлення і кількісного визначення нами розроблено метод активаційного аналізу з використанням гальмівного γ -випромінювання мікротрона М-30 ІЕФ НАН України. Цей метод є універсальним і придатний також для визначення домішок Cr і Ti. Для визначення концентрації домішок використовувалася відносна методика, коли досліджуваний зразок сапфіру і зразки-еталонів Mo і W активувалися в однакових умовах з послідовним порівнянням інтенсивностей характеристичних піків апертурних γ -спектрів. Ідентифікація та визначення Mo в монокристалах сапфіру здійснювалися за аналітичною лінією 120 кеВ ізотопу Tc-99m, який утворювався в результаті

трансмутації Mo-99 → Tc-99m, а W – за аналітичними лініями 100, 130 та 174 keV ізотопу W-185m.

Ключові слова: сапфір, сапфірові підкладки, світлодіоди, люмінесценція, активаційний аналіз.

УДК 622.323

ВІРТУАЛЬНІ ПРИЛАДИ, ЇХ ПЕРЕВАГИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Гладь І.В., Федорів М.Й., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

В наукових дослідженнях при проведенні експериментів забезпеченість контрольно-вимірювальними приладами (КВП), оперативність і якість вимірювання, накопичення та аналізу інформації є вирішальними. Стаціонарні КВП як правило вузькоспеціалізовані, габаритні, високовартісні. Можливості сучасної ЕОМ набагато перевищують показники спеціалізованих КВП при обробці та візуалізації вимірювальної інформації.

Оснащення ЕОМ однією або кількома платами збору даних (ПЗД) та набором віртуальних приладів уможливорює проведення різноманітних експериментальних досліджень. Можливість швидкої цифрової обробки введеної через ПЗД інформації, якість відображення отриманих результатів робить систему віртуальних засобів вимірювання на базі ЕОМ основним інструментом для експериментальних досліджень при оптимальному співвідношенні доступність-ціна-якість. При незмінному застосуванні однієї або кількох ПЗД, що містять аналого-цифрові (АЦП) та цифро-аналогові (ЦАП) перетворювачі, можна реалізувати декілька віртуальних приладів (осцилограф, самописець, спектроаналізатор, мультиметр, частотомір, генератор сигналів), функції яких визначаються програмним забезпеченням і при потребі легко модифікуються користувачем. Точність вимірювання та відтворення електричних сигналів визначається параметрами конкретної ПЗД. Наприклад, ПЗД PCL-711В фірми Advantech (12-розрядний АЦП з часом перетворення 25 мкс, 8-канальний комутатор) похибка АЦП 0,01 %.

Перспективним є застосування звукових плат ЕОМ в якості універсальних ПЗД. Протягом десятиліття ціни на звукові плати ЕОМ зменшились приблизно у 20 разів, в той час як ціни на ПЗД середнього класу не стали дешевші (вартість PCL-711В близько \$300). Звукова плата вартістю \$15-20 придатна якісно реєструвати і формувати аналогові сигнали змінного струму в частотному діапазоні 20 Гц-20 кГц з 16-розрядною дозволяючою здатністю двома каналами одночасно без ефекту накладання частот. Для багатоканального збору, ефективного пониження шумів та конвертування інформації найдоцільніше застосувати програму обробки звуку Adobe Audition 1.0, а математичну обробку провадити у середовищі Mathcad-2001.

Розробляти віртуальні прилади з відповідним інтерфейсом користувача для роботи у реальному та постреальному часі найефективніше у середовищі графічного програмування вимірювальних систем і систем вводу-виводу LabVIEW (компанія National Instruments), яке прискорює створення програмного забезпечення в порівнянні з мовами C++, C-Builder.

Ключові слова: ЕОМ, плата збору даних, віртуальний прилад, звукова плата, обробка звуку, графічне програмування.

УДК 621.643:620.191.4

ДІАГНОСТИКА СТАНУ ІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

*Яворський А.В., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна*

Безконтактним і перспективним методом контролю стану ізоляційного покриття підземного трубопроводу можна вважати електромагнітний метод, який базується на вимірюванні напруженості магнітного поля, створеного внаслідок протікання по струму в його стінках і визначення величини цього струму на різних ділянках трубопроводу. Крім цього цей метод контролю дозволяє одночасно проводити визначати вісь і глибину залягання трубопроводу.

Уникнути впливу сторонніх комунікацій, з використанням існуючих систем безконтактного контролю ізоляційного покриття, не вдається у випадку наявності гальванічного контакту досліджуваного трубопроводу з сторонньою комунікацією або коли ця комунікація пролягає паралельно на невеликій відстані (до 0,4 м) від контрольованого трубопроводу. Гальванічний контакт між комунікаціями призводить до того, що контрольований струм розповсюджується по двох комунікаціях і при невеликій відстані між комунікаціями в результаті інтерференційної взаємодії магнітних полів, значно утруднюється визначення вісі контрольованого трубопроводу і отримання достовірних даних про величину струму в його стінках.

Нами пропонується рішення, що дозволяє визначити струм в стінках кожного з трубопроводів, глибину залягання для кожного і відстань між трубопроводами. В основі рішення лежить використання виразу профільної залежності горизонтальної складової напруженості магнітного поля для двох трубопроводів і значення даної напруженості магнітного поля вимірянні з певною дискретністю над трубопроводами. Використовуючи числові методи безпосередньої мінімізації, знаючи діапазон зміни шуканих параметрів на основі рівняння профільної залежності і вимірних значень профілю напруженості проводиться розрахунок глибини залягання і струму в стінках кожного з трубопроводів.

Дане рішення хоч є і складнішим в плані технічної реалізації (отримання профільної залежності над трубопроводами) і обробки результатів (не має прямої аналітичної залежності для шуканих параметрів) але дозволяє працювати в неідеалізованих умовах, що підтверджується на практиці.

Ключові слова: ізоляція, трубопровід, магнітне поле, профільна залежність.

УДК 622.672.5

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНТРОЛЮ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Лютак З.П., Мандра А.А., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

Сучасні вимоги до експлуатаційної надійності трубопроводів диктують необхідність комплексного підходу як до проектування і будівництва магістральних трубопроводів, так і до їх технічного обслуговування, діагностики, ремонту при експлуатації. Не дивлячись на вдавану простоту конструкцій магістральних трубопроводів, вихід їх із ладу (відмова, руйнування) під час експлуатації в поєднанні з високим в них тиском газу може призвести до великих матеріальних збитків, забруднення довкілля, людських жертв, так як зона розподілу наслідків руйнування може поширитися на великі віддалі.

Тому важливим напрямком цілісної оцінки технічного стану магістральних газопроводів є контроль їх фізико-механічних параметрів, основним параметром якого є напружено-деформований стан металу трубопроводу. Наявність інформації про величину напруження в стінках металу труб, порівняння його з допустимим значенням, вирішує проблему надійності самих трубопроводів та компресорної станції в цілому, так як дана система є взаємопов'язана.

Завдяки розробці нової методики і технічних засобів діагностування магістральних трубопроводів в експлуатаційних умовах, можна забезпечити конструктивну надійність технологічного об'єкту та збільшити термін його експлуатації.

Для досягнення поставленої мети розроблена математична модель контролю напружено-деформованого стану магістральних трубопроводів під дією навантажень ультразвуковим методом, яка дозволяє визначити існуючі напруження для оцінки міцності і залишкового ресурсу даних трубопроводів в експлуатаційних умовах без використання зразків металу труб з визначенням їх механічних характеристик.

Дістав подальшого розвитку метод визначення часу поширення ультразвуку, що дозволяє підвищити точність та чутливість вимірювання. Розроблене програмне забезпечення мовами Java, Assembler, за допомогою

якого реалізуються алгоритми обчислення напружень у стінках трубопроводів, представлення результатів контролю в графічній та табличній формах.

Розроблена методика пройшла випробування на об'єктах Управління магістральних газопроводів „Черкаситрансгаз”.

Ключові слова: напружено-деформований стан, ультразвук, Java, Asembler, трубопровід.

УДК 621.833:519.004

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЧАСТОТНО-ЧАСОВА ОБРОБКА АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТРІЩИННО-ПОДІБНИХ ПОШКОДЖЕНЬ РОТОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

*Сопілка Ю.В., Бурау Н.І., Національний технічний університет України “Київський
політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Робота спрямована на подальше вдосконалення методів вібраційної та віброакустичної діагностики, як основи для побудови автоматизованої системи моніторингу технічного стану елементів турболопаточних машин, наприклад, лопаток робочих коліс авіаційних газотурбінних двигунів. Така система має забезпечити безперервний на визначених інтервалах експлуатації двигуна процес отримання, обробки та аналізу діагностичної інформації для ранньої діагностики початкових тріщинно-подібних пошкоджень лопаток робочих коліс.

Як діагностична інформація використовується вібраційний та акустичний шум в низькочастотному діапазоні, що випромінюється лопатками при їх вібраційному збудженні на стаціонарних та нестаціонарних режимах експлуатації двигуна.

Попередні теоретичні дослідження та математичне моделювання дали змогу проаналізувати вплив малих втомних тріщин на характеристики вимірюваних сигналів та визначити найбільш ефективні методи обробки діагностичної інформації, до переліку яких входять методи частотно-часового аналізу, що базуються на псевдо-перетворенні Вігнера.

Для підтвердження ефективності використання методів частотно-часового аналізу в задачі виділення ознак малої тріщини в лопатці робочого колеса були проведені експериментальні дослідження вимушених коливань імітатора робочого колеса на стаціонарних та нестаціонарних режимах. Імітатором є контрольований зразок з алюмінієвого сплаву Д16, який має 8 лопаток.

Власні частоти лопаток визначені шляхом спектральної обробки їх імпульсних відгуків при миттєвому ударному збудженні. Зразок без дефектів, а потім з нанесеним концентратором дефекту на одній з лопаток було закріплено на валу привідного пристрою експериментальної установки, а вібраційне збудження елементів зразка проводилось обертовим ротором пристрою.

Випромінюваний акустичний шум вимірювався за допомогою динамічного мікрофону та через звукову карту подавався в ПЕОМ для обробки.

Вимірний сигнал підлягав обробці в частотно-часовій області на окремо виділених вибірках, які характеризують режим розгону, перехідний процес після вібраційного збурення, стаціонарний режим зі сталою частотою обертання та режим вибігу. Для кожного з режимів проаналізовано вплив пошкодження на результати аналізу та визначено діагностичні ознаки.

Ключові слова: віброакустична діагностика, втомні пошкодження, обробка сигналів, частотно-часовий аналіз.

УДК 621.438.001.5

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Игуменцев Е.А., Прокопенко Е.А., Марчук Я.С., Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина

Темпы роста газовой промышленности Украины обусловили резко возросшие требования к предотвращению неконтролируемых отказов в производстве, т.е. сохранению способности предприятия к бесперебойной производственной деятельности, и снижению общего уровня потерь; снижению расходов на ремонтно-восстановительные работы; уменьшению времени и объемов работ технического обслуживания (ТО).

Удовлетворение этих требований может быть обеспечено за счет минимизации производственных затрат. Однако практика показывает, что рекомендуемая (или устанавливаемая) повторяемость мероприятий ТО не является оптимальной.

Рассматриваемая стратегия эксплуатации по «состоянию» заключается в оптимизации самой процедуры ТО, причем принятие решения о проведении или не проведении ремонтно-восстановительных работ принимается только по результатам некоторых расчетных показателей, которые адекватно характеризуют техническое состояние газоперекачивающего агрегата (ГПА).

ТО — этап эксплуатации, включающий текущую и прогнозируемую оценки технического состояния (ТС) ГПА и организацию на базе этих оценок технических и других мероприятий, направленных на поддержание его эффективности, надежности и готовности. Текущие и прогнозируемые оценки ТС, включающие характеристики износа, старения, дефектов узлов ГПА и т.п., а также перечень требуемых технических мероприятий, рассчитываются и формируются на работающем агрегате. Именно этот смысл вкладывается в понятие «эксплуатация по состоянию».

Таким образом, задача оценки и прогнозирования ТС должна быть составной частью ТО, определяющей все его последующие мероприятия. Практическая возможность получения оценок ТС позволяет обеспечить

остановку изделия только строго по необходимости; замену узлов и деталей только при достижении стадии износа; профилактику роторов, статоров, юстировку осей узлов изделия и т.п. только при выходе контролируемых параметров за установленные пределы; слежение за динамикой изменения ТС, позволяющее в принципе исключить возможность аварий любого вида (из числа контролируемых). При этом характер изменения суммарных производственных затрат в зависимости от повторяемости ТО имеет единственный минимум. Отсюда следует, что, принимая при каждом очередном ТО оптимальные решения, достигается глобальный минимум суммарных производственных затрат.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, техническое обслуживание, техническое состояние, прогнозирование, техническая диагностика, эксплуатация «по состоянию».

УДК 681.5.007: 658:621.311.25

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТОПЛИВА АЭС

Болтенков В.А., Молина Т.О., Маслов О.В., Первушина О.В., Стецюра А.С., Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

Атомные электростанции играют ведущую роль в национальном энергетическом балансе Украины. На большинстве энергоблоков, построенных по проектам 60-х годов 20 века, отсутствуют системы диагностики состояния оборудования. В связи с этим на АЭС интенсивно внедряются диагностические системы как средства интеллектуальной поддержки оператора. В докладе рассматриваются два направления разработки и совершенствования диагностических систем АЭС: системы бесконтактной акустической диагностики течей в оборудовании и системы диагностики состояния ядерного топлива по собственному гамма-излучению тепловыделяющих сборок (ТВС). Серьезной проблемой в автоматизации акустического течеискания является обнаружение слабого акустического сигнала от течи на начальном этапе ее образования и развития на фоне технологических шумов оборудования энергоблока. Для решения проблемы была промоделирована задача обнаружения и распознавания акустических сигналов от двух типов течей — щельной течи и фланцевой течи, различающихся по спектральному составу сигналов, на фоне технологического шума, создаваемого высокооборотными электрическими машинами. Для решения задачи была построена нейронная сеть (НС) класса «многослойный персептрон» с обучением по методу обратного распространения ошибки. В качестве входного сигнала использовались 1024 отсчета спектрограммы аддитивной смеси сигнала течи и технологического шума. При размере обучающей выборки в 25-30

спектрограмм НС успешно распознает сигналы от двух видов течей при общем отношении сигнал/шум до -10 дБ. Вероятность правильного распознавания — 96%. В задачах диагностики состояния ядерного топлива, в частности оценки глубины выгорания и контроля герметичности оболочек ТВС, ведущей технологией является регистрация и анализ энергетических спектров собственного гамма-излучения ТВС. На этапе анализа гамма—спектров наиболее сложной в отношении алгоритмизации и автоматизации является проблема поиска пиков полного поглощения (ППП) изотопов продуктов деления (ПД). Основным практический интерес представляет поиск хорошо идентифицируемых ППП ПД ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{106}Ru , ^{154}Eu . Для поиска пиков полного поглощения также был предложен многослойный персептрон. На вход НС подавались 1024 отсчета гамма-спектра. Для обучения НС был использован реальный банк данных гамма-спектров, зарегистрированных на Запорожской АЭС при перегрузке ядерного топлива. После обучения на эталонной выборке объемом 10-12 спектров сконструированная сеть успешно распознает практически все предъявленные к распознаванию статистически значимые ППП ПД ^{137}Cs и ^{134}Cs .

Ключевые слова: атомные электростанции, акустический сигнал, нейронная сеть, гамма-спектр, спектрограмма.

УДК 621.39.1+681.142.2

КЛАСИФІКАЦІЯ НЕЙРОННОЮ МЕРЕЖЕЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ БІСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ВІБРОАКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ

Зажичський О.В., Бурау Н.І., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м.Київ, Україна

В даній роботі розглядаються питання, пов'язані з діагностикою початкових втомних пошкоджень обертових елементів турболопаточних машин з використанням методів віброакустичної діагностики, а саме – питання розпізнавання технічного стану об'єкта діагностики, для вирішення яких застосовуються нейронні мережі. Як діагностична інформація для розпізнавання використовуються контурні зображення результатів біспектральної обробки змодельованих віброакустичних сигналів робочого колеса (турбіни, компресора) за відсутності та наявності пошкодження в одному з елементів. Контурні зображення є повнокольоровими, для економії обчислювальних ресурсів ПЕОМ вони були перетворені в палітрові зображення та подані у вигляді одного сектору в результаті їх діагональних розрізів. Для використання в якості вхідної множини образів для нейронної мережі палітрові сектори зображень були перетворені в чисельні матриці, які, в свою чергу, по стовпцям перетворено у вхідні вектори.

Класифікацію стану елементів робочого колеса проведено за допомогою двошарової стохастичної нейронної мережі, яка характеризується малим часом навчання, можливістю навчання мережі з нульовою похибкою, високою точністю розпізнавання лінійно нероздільних класів. Перший, радіально-базисний шар має 20 нейронів, а другий, що визначає ймовірність належності вхідного вектора до одного з двох класів (відсутність чи наявність дефекту), має два нейрона. Для класифікації використано по 20 навчальних та тестових образів. Кожному з навчальних векторів ставиться у відповідність функція Гауса, з центром у точці, що відповідає даному вектору. Сума таких функцій на всій множині навчальних векторів являє собою щільність ймовірності вхідних векторів для кожного класу, вона залежить від значення середнього квадратичного відхилення функції Гауса, яка, в свою чергу, задає ширину функції активації нейронів, і є параметром впливу на результат класифікації. Ефективність класифікації оцінювалась за коефіцієнтом ефективності, що являє собою виражене у відсотках значення ймовірності правильної класифікації. Проведено дослідження залежності даного коефіцієнта від параметра впливу стохастичної нейронної мережі на навчальних та тестових множинах образів, а також від кількості об'єктів навчальної множини. Визначено інтервал значень параметру впливу мережі в якому всі тестові образи класифікуються правильно.

Ключові слова: віброакустична діагностика, класифікація стану, стохастична нейронна мережа, ефективність класифікації.

УДК [539.1.074:546.47'23'36'15]:616-073.7

ВОЗМОЖНОСТИ ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРЫ «СЦИНТИЛЛЯТОР-ФОТОДИОД» В ЦИФРОВОЙ МЕДИЦИНСКОЙ РАДИОГРАФИИ

Рыжиков В.Д., Ополонин А.Д., Козин Д.Н., Лисецкая Е.К., Даниленко В.Л., Научно-технологический центр радиационного приборостроения, НТК “Институт монокристаллов” НАН Украины, г. Харьков, Украина

Задачей по развитию цифровой медицинской радиографии является максимальное использование ее преимуществ перед обычным рентгенологическим исследованием, а именно: в хорошем пространственном разрешении, разрешении контраста и точности измерения до нескольких тысяч при малой разнице в плотностях костной, мозговой и мягких тканей. Прогресс в развитии медицинской радиографии связан с развитием технологии и улучшением параметров и характеристик детекторов рентгеновского излучения.

Целью работы является поиск резервов для повышения чувствительности и обнаружительной способности пары сцинтиллятор-фотодиод (С-ФД), а также максимального использования особенностей двухэнергетической радиографии.

Метод радиационной вычислительной томографии сводится к реконструкции пространственного распределения линейного коэффициента ослабления излучения в материале контролируемого объекта.

Проходя через объект контроля исходный поток рентгеновского излучения частично поглощается и в спектре излучения изменяется соотношение высокоэнергетической и низкоэнергетической части. Причем чем выше эффективный атомный номер $Z_{\text{эфф}}$ вещества, тем меньше доля низкоэнергетического излучения. Авторами проведен теоретический расчет для модели двухэнергетической радиографии.

Эффективный атомный номер Z у кристалла ZnSe совпадает с Z у меди, обычно используемой в качестве фильтра высокоэнергетической линейки. Поэтому размещение детектора с $\text{ZnSe}(\text{Te})$ в роли фильтра перед высокоэнергетической линейкой упрощает конструкцию и улучшает технические характеристики детектирующего тракта в целом.

Двухэнергетическая линейка детектирования состоит из двух линеек С-ФД, расположенных одна за другой. Ближняя к источнику рентгеновского излучения оптимизирована для детектирования низкоэнергетического (30–50 кэВ) излучения, а расположенная за ней вторая – для детектирования высокоэнергетического (80–120 кэВ) излучения. В качестве сцинтилляторов использовали $\text{ZnSe}(\text{Te})$ толщиной 0,5 мм и $\text{CsI}(\text{Tl})$ толщиной 4 мм соответственно.

Выходными сигналами считаются потоки оптических квантов, возникающих в сцинтилляторах под действием рентгеновского излучения.

Расчетный сигнал нормирован (в отсутствии объекта) и условно преобразован 12 разрядным АЦП. Вычислены доверительные интервалы, связанные с шумами квантования. Учтено фильтрующее действие низкоэнергетического детектора. В качестве исходного спектра излучения взят спектр рентгеновской трубки при постоянном анодном напряжении 150 кВ, материал анода – вольфрам. В качестве объекта контроля выбраны неорганические и органические вещества: Al , Cu , Fe , NaCl , H_2O , $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ (сахар).

Авторами проведена оценка отношения сигналов высокоэнергетического (ВД) и низкоэнергетического детекторов (НД) при наличии объекта контроля (различной толщины и химического состава).

При использовании суммы сигналов от переднего и заднего детекторов (т.е. суммарного сигнала от двойного детектора) получается обычное изображение. Когда сигналы от переднего и заднего детекторов используются отдельно, получают комптоновское и фотоэлектрическое изображения. Шумы на томографическом изображении за счет полихроматичности излучения не связаны с детекторной системой, а обуславливаются процессом восстановления изображения.

Для оценки идентификации веществ, рассмотрены различные производные от исходных расчетных сигналов 1 (НД) и 2 (ВД), а именно: (суммарный 1+2; разностный 2-1; отношения 1/2 и 2/1). Эти величины как функции от $\rho \cdot l$ (г/см^2) представлены для сахара и железа.

Таким образом, используя упрощенную модель двухэнергетической линейки детекторов и спектр рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом, можно оценить отношения сигналов ВД и НД при наличии объекта контроля (различной толщины и химического состава).

Проведенные расчеты позволяют оценить возможности двухэнергетического метода для определения веществ в цифровой радиографической системе.

Для определения эффективного атомного номера вещества возможно использование в качестве признака вещества отношения сигналов ВД/НД с учетом суммарного сигнала (ВД+НД).

Такое внедрение в медицинскую практику новых высокоинформативных методов инструментального исследования позволит поднять на новую качественную ступень диагностику различных заболеваний, т.е. определять органику на фоне неорганики и выявлять органические ткани на фоне органических.

Ключевые слова: цифровая медицинская радиография, рентгеновское излучение, сцинтиллятор, двухэнергетическая линейка детектирования.



Украинский информационный Центр
«НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ»

Создан при содействии Проекта УНР/98/006 «Обмен технологической информацией в Украине

для поддержки экономических преобразований» Программы Развития ООН

Ген. директор Главацкая Зоя Юрьевна

02094, г. Киев, ул. Минина, 3, к. 47, тел./факс: (+38 044) 573 30 40 ежедневно с
8:00 до 14:00

моб. тел. : (+38 067) 708 - 93 - 95

e-mail: office@conference.kiev.ua , www.conference.kiev.ua

Почтовый адрес: 02094, г. Киев, а/я 41

р/с № 2600100520028 в АКБ «Правэкс-Банк» г. Киева, МФО 321983, ОКПО 31033366

ИНН 310333626034, № свид. плат. НДС 35584703,

статус плат. налога на прибыль – единый 6% налог

Руководителю организации

Уважаемые коллеги!

Приглашаем Вас и специалистов Вашей организации принять участие в работе ежегодных научно-практических конференций, семинаров, круглых столов, выставок, организуемых Украинским информационным Центром «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ» **под научным руководством известных ученых и специалистов Украины, России, Беларуси.**

Центр опирается на многолетний опыт его сотрудников и поименный банк данных, собранных кропотливым трудом в течение 20-летней деятельности по проведению конференций в Украинском Доме экономических и научно-технических знаний и четырехлетней самостоятельной работы.

Тематика мероприятий кристаллизовалась более двадцати лет.

ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ МЕРОПРИЯТИЙ – обмен научно-технической информацией, выявление наилучших результатов практической деятельности и их распространение в промышленности, обобщение опыта производства в условиях информационной разобщенности производителей, ученых и специалистов.

Центр действует, руководствуясь Проектом УНР/98/006 «Обмен технологической информацией в Украине для поддержки экономических преобразований» Программы Развития ООН в Украине.

Центр предлагает:

- участие, очное и заочное, в работе 3-4 ежегодных Международных конференций и выставок (план прилагается)
- организацию бизнес – туров на международные конференции и выставки дальнего зарубежья (план формируется);
- проведение презентаций предприятий и организаций в рамках конференций;
- издание сборников материалов конференций;
- распространение информации о проведении выставок;
- организацию издания лучших докладов в профессиональных журналах Украины, России, Беларуси.

Информационную поддержку осуществляют:

журналы: «Пластические массы», «В мире неразрушающего контроля», (Россия), «Сварщик», «Мир техники и технологий» «Інструментальний світ», «Оборудование и инструмент для профессионалов», «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» (Украина) и др.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРОВОДИМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ в 2004–2005 г.:

➤ *Двадцать Четвертая ежегодная международная конференция и блиц-выставка*

**«КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
(СЛАВПОЛИКОМ)**

Место и время проведения: г. Ялта, 31 мая – 4 июня 2004 г., оргвзнос из расчета 200 у.е. (с питанием, проживанием, участием в выставке)

В 2003 г. приняло участие около 130 чел.

➤ *Двенадцатая ежегодная международная конференция*

**«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ»**

Место и время проведения: г. Ялта, 20 – 24 сентября 2004 г., оргвзнос из расчета 200 у.е. (с питанием, проживанием, участием в выставке).

В 2003 г. приняло участие около 180 чел.

➤ *Четвертая Промышленная конференция с международным участием и блиц-выставка*

**«ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНОГО,
РЕСУРСНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА В
СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ», в рамках которой состоятся
семинары:**

- «Прогрессивные технологии и инструменты нового тысячелетия»,
- «Технологии ремонта машин, механизмов, оборудования»,
- «Горнодобывающая промышленность»

Место и время проведения: п. Славское, Карпаты, пансионат «Бойкивщина», февраля 2005 г. Полный Оргвзнос из расчета 150 у.е. (с проживанием, питанием, участием в выставке), Малый Оргвзнос – 60 у.е. (без проживания, без питания, с участием в выставке). Оргвзнос для молодых ученых – 20 у.е. (без проживания, без питания, с участием в выставке).

В 2004 г. приняло участие около 100 чел.

Подробные сведения по вышеуказанным мероприятиям можно запросить по тел.: (+38 044) 573 - 30 - 40 ежедневно с 8 до 14.00, моб.тел.: (+38 067) 708 - 93 - 95

e-mail: office@conference.kiev.ua, <http://www.conference.kiev.ua>

Надеюсь на сотрудничество.

С уважением, Генеральный директор



З. Ю. Главацкая