УДК 620.179

РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИХРОСТРУМОВИХ ДЕФЕКТОСКОПІВ АВТОГЕНЕРАТОРНОГО ТИПУ

В.М. Учанін

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, вул. Наукова, 5, м. Львів, тел. (8-0322) 75-08-69

Описані вихрострумові перетворювачі дефектоскопів Леотест ВД, які дозволяють контролювати вироби з шорсткою поверхнею, короткі тріщини довжиною 0,8 – 1,0 мм. Запропоновані технології вихрострумового контролю виробів з шорсткою поверхнею. Описані вдосконалені схеми побудови окремих блоків автогенераторного дефектоскопа, які підвищують вірогідність результатів дефектоскопії.

Описаны вихретоковый преобразователи дефектоскопов Леотест ВД, которые позволяют контролировать изделия с шершавой поверхностью, короткие трещины длиной 0,8 – 1,0 мм Предложены технологии вихретокового контроля изделий с шероховатой поверхностью. Описанные усовершенствованы схемы построения отдельных блоков автогенераторного дефектоскопа, которые повышают достоверность результатов дефектоскопии.

The vortex-current transformers of fault detectors of Leotest VD, which allow to control wares with a rough surface, are described, short cracks long 0,8 – 1,0 мм. Technologies of vortex-current control of wares are offered with a rough surface. The described is improved charts of construction of separate blocks of autogenerator fault detector, which promote authenticity of results of fault detection.

Дефектоскопи типу Леотест ВД (ВД 3.01Н, ВД 3.02Н, ВД 3.03Н, ВД 4.01Н і ВД 4.02 Н) забезпечують високу чутливість при виявленні поверхневих тріщин. Дефектоскопи працюють з комплектом локальних вихрострумових перетворювачів (ВСП) «олівцевого» або Г-подібного типу. Крім того, випускаються спеціальні ВСП для контролю внутрішньої стінки отворів різного діаметру. Прилади не відчувають впливу коливань зазору між робочою поверхнею ВСП і поверхнею об'єкта контролю (ОК). Можливе відстроювання від впливу краю ОК. Дефектоскопи зручні в роботі, так як мають автономне живлення, малу вагу і габарити. Додаткова звукова індикація звільняє оператора від необхідності спостерігати за екраном дефектоскопа під час контролю, що дозволяє йому зосередити увагу на якості сканування контрольованої зони. Методики на основі приладів «закладено» в регламент з технічного обслуговування літаків АНТК «АНТОНОВ» і двигунів ЗМКБ «ПРОГРЕСС», ВАТ «Мотор-Січ» [1, 2]. Дефектоскопи пройшли державні випробування і включені в Державний реєстр засобів вимірювальної техніки. Дефектоскопи впроваджені на багатьох підприємствах України і за кордоном для контролю авіаційних конструкцій і вузлів. Крім того, вони використовуються для виявлення тріщин в лопатках із аустенітних сталей газоперекачувальних агрегатів і теплових електростанцій, в зоні зварних швів феромагнітних сталей, для контролю валів нафтоперекачувальних насосів відповідно до галузевого стандарту, при контролі деталей агрегатів компресорних станцій тощо [3, 4].

Практика ставить нові задачі, вирішення яких вимагає вдосконалення вихрострумових дефектоскопів і розширення їх можливостей у двох напрямках:

1) забезпечення можливостей неруйнівного контролю виробів з шорсткою (грубо обробленою) поверхнею, наприклад, литва;

2) забезпечення високої чутливості до коротких тріщин довжиною близько 0,8-1 мм.

Традиційно вважалось, що вихрострумовий метод непридатний для контролю необроблених шорстких поверхонь через великий рівень завад при її скануванні ВСП. Останні дослідження показали, що задача контролю шорстких поверхонь може бути

вирішена шляхом вибору ВСП і оптимальної обробки сигналів, яка дозволяє зменшити вплив завад [5]. Вихрострумовий метод із застосуванням ВСП мультидиференційного типу [6] можна ефективно використовувати для дефектоскопії литва. При цьому покращення співвідношення сигнал/завада може бути досягнуто на основі диференційної обробки сигналу при скануванні. Запропоновані технології використано для контролю литва рухомого складу залізничного транспорту [5]. В роботі було використано мультидиференційні ВСП, які мають багато переваг завдяки високій чутливості і відстроюванню від впливу зміни зазору. Аналіз показав, що запропонований підхід може бути не єдиним при контролі шорстких поверхонь.

Іншим плодотворним шляхом може бути фільтрація сигналів, обумовлених шорсткістю поверхні, за рахунок властивостей обмотки ВСП інтегрувати впливи неоднорідностей поверхні ОК в межах свого розміру. Відомо, що сигнал абсолютного ВСП дає інтегральну інформацію про стан контрольованої ділянки ОК. Завдяки інтегральним властивостям ВСП може мати фільтруючі властивості відносно неоднорідності матеріалу і поверхні ОК, розміри яких є набагато меншими за розміри ВСП. Проведені дослідження показали, що для контролю шорстких поверхонь, утворених, наприклад, у литві, оптимальним є ВСП параметричного типу з діаметром обмотки 4,5-5,0 мм. Для роботи в складі автогенераторних дефектоскопів типу Леотест ВД параметри ВСП (зокрема його індуктивність і добротність) при розміщенні у «повітрі» і на контрольованому металі мають бути близькими до параметрів штатного ВСП, на який налаштовано автогенератор дефектоскопа. Для вибору параметрів обмотки, розміщеної на феритовому осерді діаметром 4,5 мм, було проведено відповідні розрахунки індуктивності і активного опору методом об'ємних інтегральних рівнянь за методикою роботи [7].

Дослідження розробленого ВСП в складі дефектоскопу Леотест ВД 3.03 показали його ефективність при контролі шорстких поверхонь. Випробування дефектоскопа, проведені в умовах Нововолинського ливарного заводу, показали ефективність вихрострумової дефектоскопії виробів із ливарних сплавів 20Л, 30Л, 35Л, 20ГЛ і 20ГСЛ, виготовлених методом литва в землю. Чутливість вихрострумової дефектоскопії по необробленій поверхні литва є кращою за чутливість штатного магнітопорошкового методу. Перевагою вихрострумового методу є менша собівартість через відсутність коштовних розхідних матеріалів. Розроблений параметричний ВСП має однакову чутливість за різною орієнтації ВСП відносно напрямку поширення дефекту, що дає йому перевагу порівняно з відомою методикою [5]. Запропоновані технології вихрострумового контролю виробів з шорсткою поверхнею, зокрема литва, можуть бути успішно використані для дефектоскопії об'єктів в інших галузях, зокрема нафтогазовій.

Останніми роками практика неруйнівного контролю висуває задачу виявлення коротких тріщин довжиною 0,8-1,0 мм. Більшість сучасних дефектоскопів атестуються за пороговим дефектом довжиною 2,0 мм з використанням локальних параметричних ВСП «олівцевого» типу діаметром 1,2 мм [1, 2].

Розглянемо вплив довжини тріщини на чутливість параметричного ВСП у випадку короткої тріщини, довжина якої не набагато перевищує діаметр обмотки ВСП. На рис. 1 і рис. 2 наведено розподіл сигналу ВСП при скануванні вздовж тріщини при збереженні центрального положення ВСП відносно серединної площини тріщини ($x = 0$) для різної довжини тріщини $l'_{TP} = l_{TP} / D_c$. Наведені результати отримано шляхом розрахунку сигналів ВСП методом об'ємних інтегральних рівнянь за допомогою спеціалізованої програми VIC-3D [7-9]. При розрахунках довжина тріщини і координата розташування ВСП при скануванні пронормовані до середнього діаметру D_c обмотки ВСП, тобто приведена довжина тріщини $l'_{TP} = l_{TP} / D_c$ і приведена координата вздовж серединної лінії тріщини $y' = y / D_c$.

Загальний вигляд залежностей (рис. 1) показує, що розподіл сигналу ВСП при скануванні вздовж тріщини сильно залежить від співвідношення довжини тріщини до діаметру ВСП (приведеної довжини тріщини l'_{TP}). Для коротких тріщин розподіл сигналу ВСП має двогорбий симетричний характер з мінімумом при $y = 0$ (тобто при розміщенні ВСП безпосередньо на тріщиною), який для дуже короткої тріщини (відносно розмірів ВСП) може досягати нуля при $l'_{TP} < 0{,}3$. Це можна пояснити розподілом густини вихрових струмів ВСП, які максимальні безпосередньо під витками обмотки і загасають до нуля при наближенні до центру ВСП (так звана «мертва» зона). Таким чином, нуль сигналу ВСП буде у випадку, коли тріщина повністю розташована в центральній «мертвій» зоні ВСП і практично не впливає на

перерозподіл вихрових струмів. Максимального значення сигнал ВСП досягає тоді, коли середина тріщини розташовується безпосередньо під витками ВСП і максимально впливає на вихрові струми. Звідси зрозуміло, чому для коротких тріщин з $l'_{TP} < 1{,}0$ відстань між максимумами приблизно дорівнює діаметру обмотки D_c, а в приведених координатах на рис. 1 дорівнює 1,0. Із збільшенням довжини тріщини відстань між максимумами незначно збільшується (рис. 2 для l'_{TP} = 1,2 і 1,5), а значення амплітуди сигналу в точці мінімуму зростає.

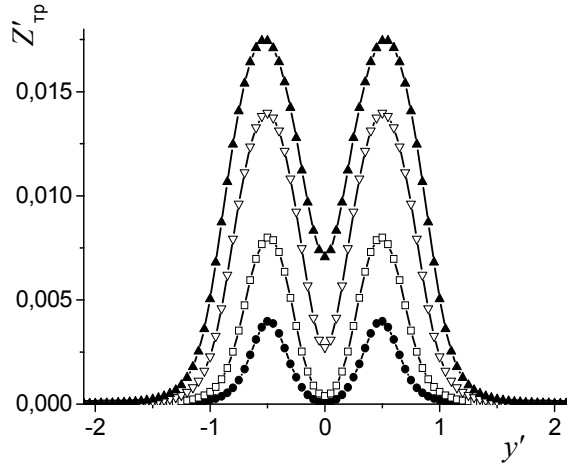


Рисунок 1 – Розподіл сигналу ВСП при скануванні вздовж тріщин з приведеними довжинами l'_{TP} = 0,3 (●); 0,5 (□); 0,8 (∇) і 1,0 (▲)

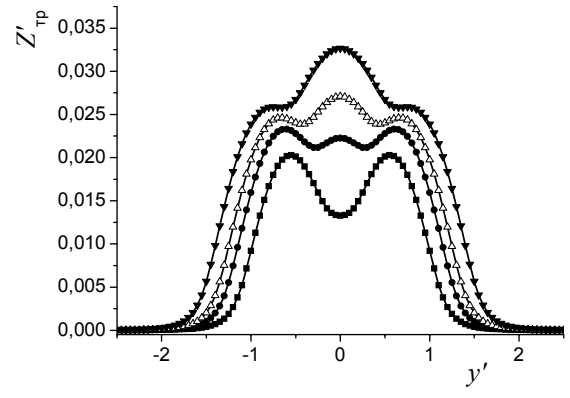


Рисунок 2 – Розподіл сигналу ВСП від повздовжньої тріщини з приведеними довжинами l'_{TP} = 1,2 (■); 1,5 (●), 1,7 (Δ) і 2,0 (▼)

При l'_{TP} = 1,5 характеристика розподілу сигналу ВСП має три максимуми, так як центральний мінімум поступово починає перероджуватись в максимум, тобто провал при розташуванні тріщини по центру ВСП відсутній.

Ці результати показують, що для оптимального виявлення коротких тріщин необхідно діаметр ВСП вибирати із умови $a' = a / D_c > 1{,}5$; де за параметр довжини тріщини a вибирають мінімальну довжини тріщини, яку необхідно виявляти. Зокрема, в дефектоскопах типу Леотест ВД для виявлення порогової тріщини довжиною 2,0 мм використовують ВСП з діаметром обмоток 1,2 мм, що відповідає даній умові.

За необхідності виявляти тріщини довжиною 0,9-1,0 мм діаметр ВСП повинен бути приблизно 0,6 – 0,7 мм. Такий ВСП розроблено на основі використання феритових осердь діаметром 0,6 мм. Індуктивність і добротність обмоток ВСП для виявлення коротких тріщин підібрані таким чином, щоб забезпечити роботу в складі вихрострумових дефектоскопів типу Леотест ВД без внутрішнього перестроювання. Випробування ВСП для виявлення коротких тріщин в складі автогенераторних дефектоскопів показали їх високу ефективність. Одночасно покращено поріг чутливості до тріщин в низькопровідних (наприклад, титанових і аустенітних) сплавах за глибиною, який складає 0,2 мм.

Для підвищення чутливості дефектоскопії з використанням розширеного комплекту ВСП проведено вдосконалення схеми автогенераторного дефектоскопу.

Автогенератор вихрострумового дефектоскопу представляє собою нелінійний резонансний підсилювач, охоплений додатним зворотним зв'язком. В якості активного елементу використовують біполярні транзистори або польові транзистори із закритим *p-n* переходом. Біполярні транзистори мають високу крутизну перехідної характеристики, яка на порядок перевищує крутизну польових транзисторів. Але біполярні транзистори мають невеликий вхідний опір, який є на 2-3 порядки нижчий, ніж у польових транзисторів, що обмежує їх ефективність при побудові автогенератора. Тому останніми роками в якості активного елементу найчастіше використовують польові транзистори, які крім високого вхідного опору (до 10 МОм) відрізняються низьким рівнем низькочастотних шумів, лінійністю вольт-амперної характеристики, великим динамічним діапазоном, високою стабільністю і незначною

залежністю від зміни напруги живлення. Існує два основних типи польових транзисторів: транзистори з закритим *p-n* переходом і транзистори з ізольованим затвором (МОП-транзистори). У відомих дефектоскопах використовують польові транзистори з закритим *p-n* переходом, а інформація про використання польових транзисторів з ізольованим затвором в літературі відсутня. Аналіз показує, що ефективні схеми автогенераторного дефектоскопа можна створити на основі польових транзисторів з ізольованим затвором, в яких коло зворотного зв'язку практично не навантажується вхідним опором активного елементу.

Схема вихрострумового дефектоскопу на польовому транзисторі з ізольованим затвором (рис. 3) складається з двоконтурного автогенератора 1, який має робочий контур 2 з включеним в нього вихрострумовим перетворювач параметричного типу 3 і опорний контур 7. Автогенератор 1 виконаний на польовому транзисторі з ізольованим затвором 9, в коло автоматичного зміщення якого паралельно резистору 8 додатково включений діод 6. Між виходом автогенератора 1 і блоком живлення 12 включено блок регенерації коливань 10. До виходу автогенератора 1 підключено блок звукової індикації 11. В робочий контур автогенератора може бути включений варикап 4, керований вхід якого підключений до блоку живлення 10 через блок керованої постійної напруги, виконаний у вигляді потенціометра 5.

Вибір польового транзистора з ізольованим затвором в якості активного елементу автогенератора дозволяє підвищити надійність роботи автогенератора при контролі матеріалів з різними електрофізичними властивостями і з різним зазором між робочою поверхнею ВСП і поверхнею ОК за рахунок високих технічних характеристик польового транзистора з ізольованим затвором, зокрема високого вхідного опору, граничної частоти і крутизни перехідної характеристики.

Ефективність роботи вихрострумових дефектоскопів в значній мірі залежить від наявності в їх складі схеми регенерації коливань. На рис. 4 і рис. 5 наведено нову схему регенерації коливань, яка за рахунок високої швидкодії дозволяє значно підвищити продуктивність контролю.

Вихрострумовий автогенераторний дефектоскоп з блоком регенерації коливань (рис. 4) складається з двоконтурного автогенератора 1, який має робочий контур 2 з включеним в нього вихрострумовим перетворювачем параметричного типу 3 і опорний контур 4. Автогенератор 1 виконано на польовому транзисторі 5. Автогенератор 1 на виході має фільтруючу ємність 6. Між виходом автогенератора 1 і блоком живлення 15 включено блок регенерації коливань 7. Блок регенерації коливань складається з послідовно включених конденсатора 8, підсилювача-обмежувача 9, формувача сигналу дефекту 11 і схеми керування напругою живлення 14.

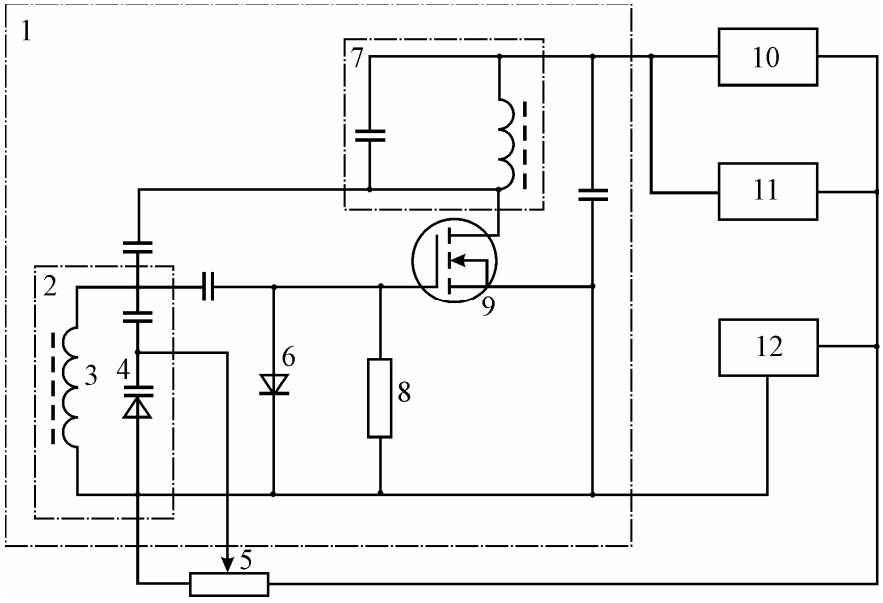


Рисунок 3 – Схема вихрострумового дефектоскопу на польовому транзисторі з ізольованим затвором

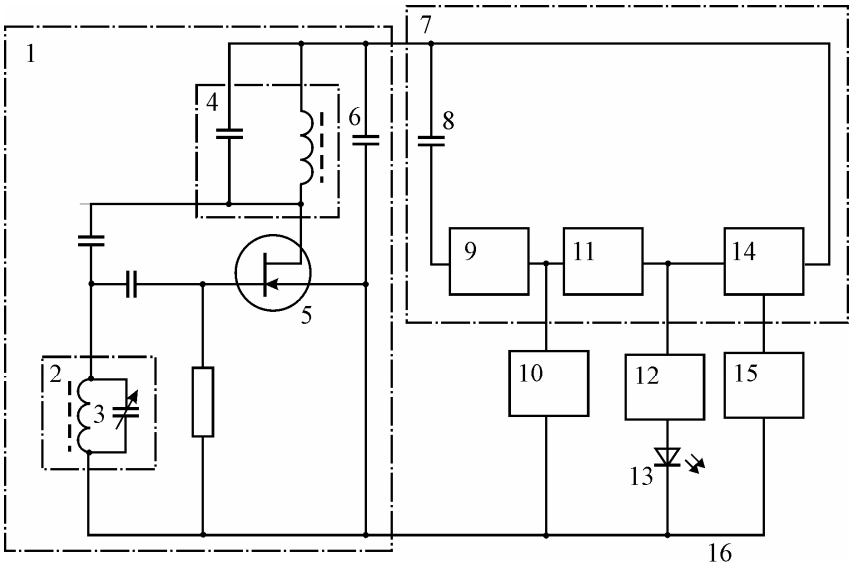


Рисунок 4 – Схема вихрострумового автогенераторного дефектоскопа з блоком регенерації коливань

Блок звукової сигналізації 10 включено між виходом підсилювача-обмежувача 9 і загальною шиною блока живлення 16. Між виходом формувача сигналу дефекту 11 і загальною шиною 16 включено послідовно з'єднані розширювач імпульсів 12 і світловий індикатор 13.

Формувач сигналу дефекту (рис. 5) складається з послідовно з'єднаних інтегруючого діодного кола 17 і інвертора 18, а схема керування напругою живлення 14 автогенератора складається з послідовно з'єднаних діода 19 і транзисторного регулятора струму 20.

Розглянемо роботу блоку регенерації коливань, основною функцією якого є швидке поновлення коливань автогенератора після виявлення дефекту шляхом збільшення напруги живлення. За появи дефекту добротність ВСПЗ (рис. 4) зменшується, що призводить до зменшення добротності робочого контуру 2 і зміни режиму коливань (або зриву коливань) автогенератора, який несе інформацію про наявність дефекту. За появи дефекту сигнал на виході автогенератора 1 зменшується до мінімального рівня і надходить через конденсатор 8 на підсилювач-обмежувач 9, який формує сигнал звукової частоти.

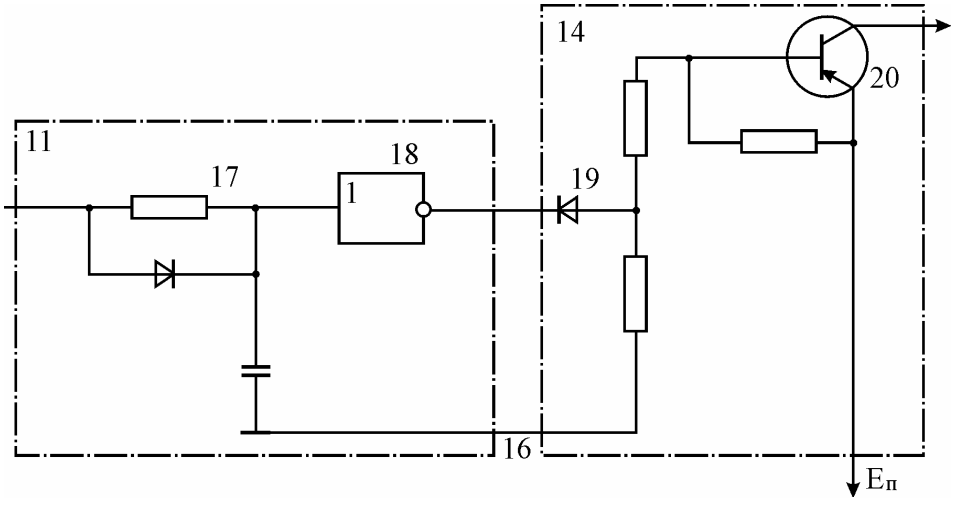


Рисунок 5 – Схема формувача сигналу дефекту і схема керування напругою живлення блоку регенерації коливань

Сигнал частоти поступає на звуковий індикатор 10 і на вхід формувача сигналу дефекту 11, який, за появи дефекту, формує короткий імпульс, амплітуда якого змінюється від напруги живлення до нуля. Короткий імпульс через діод 19 схеми керування напругою живлення 13 автогенератора надходить на транзисторний регулятор струму 20. При поступленні імпульсу на регулятор струму 20 транзистор регулятора струму 20 відкривається і збільшує напругу живлення автогенератора 1. При збільшені напруги живлення за умови, що ВСП3 не знаходиться в зоні дефекту, стаціонарні переривчасті коливання автогенератора 1 поновлюються і він готовий до подальшої роботи в складі дефектоскопу.

Під час знаходження ВСП на дефекті процес зниження і наступного збільшення живлення автогенератора 1 повторюється з періодичністю, яка задається вибором вихідного фільтруючого конденсатора 6 автогенератора 1. Частота цих імпульсів вибирається в звуковому діапазоні і реєструється звуковим індикатором 10. Короткий імпульс з виходу формувача сигналу від дефекту 11 надходить на розширювач імпульсів 12, який збільшує довжину імпульсу до необхідної для засвічування світлового індикатора дефекту 13.

ВИСНОВКИ

Розроблені нові вихрострумові перетворювачі, які при роботі в складі вихрострумових дефектоскопів типу Леотест ВД дозволяють контролювати вироби з шорсткою поверхнею, в тому числі литво.

Розроблені нові локальні вихрострумові перетворювачі, які дозволяють виявляти короткі тріщини, довжина який більша 0,8-1,0 мм.

Запропоновані технології вихрострумового контролю виробів з шорсткою поверхнею, зокрема литва, які можуть бути успішно використані для дефектоскопії об’єктів в різних галузях виробництва.

Розроблені вдосконалені схеми побудови базових елементів автогенераторного дефектоскопа підвищують ефективність дефектоскопії відповідальних конструкцій.

Література

1. Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посібник / Під. заг. ред. В.В. Панасюка. Т. 9: Міцність і довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій / О.П. Осташ, В.М. Федірко, В.М. Учанін та ін. - Львів: Вид-во «Сполом», 2007. - 1068 с.

2. Учанин В.Н., Дереча В.Я. Вихретоковый метод выявления поверхностных дефектов узлов авиационной техники в условиях эксплуатации // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006. - № 4. –- С. 20–28.

3. Берник З.А., Учанін В.М. Комплексна дефектоскопія деталей газоперекачуючих агрегатів довготривалої експлуатації // Методи і прилади контролю якості. – 2005. - № 13. – С. 13-18.

4. ГСТУ В.2.3-0001201.02-2000. Експлуатація, технічне обслуговування і ремонт обладнання і споруд нафтоперекачувальних станцій. Ч.2. Дефектоскопія валів нафтоперекачувальних насосів // В.А. Корнійчук, Б.І.Стоян, В.І.Дуля, С.О.Смолка, В.М.Учанін, Київ: Держнафтогазпром України.

5. Вихретоковый контроль литых деталей с грубо обработанной поверхностью / Луценко Г.Г., Учанин В.Н., Буга В.И. и др. // Сборник докладов 9-ой конференции "Неразрушающий контроль - 2007". – Киев. – 2007. – С. 78-81.

6. Учанин В.Н. Вихретоковые мультидифференциальные преобразователи и их применение // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006. - № 3. – С. 34-41.

7. Учанін В.М. Дослідження впливу конструктивних факторів на індуктивність вихрострумових перетворювачів з феритовим осердям // Методи і прилади контролю якості. - 2007. – № 6. – С. 26-31.

8. Учанин В.Н. Совершенствование вихретоковых методов выявления поверхностных дефектов // Материалы 16 междунар. конф. "Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики". – Ялта – Киев: УИЦ "Наука. Техника. Технология". – 2008. – С. 69-71.

9. Учанін В.М. Особливості просторового розподілу сигналу вихрострумового перетворювача від тріщин різної довжини /Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2007. – № 4. – С. 121-124.

Рекомендована до друку Оргкомітетом 5-ої Міжнародної н/т конференції „Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання”, яка відбулася в ІФНТУНГ 02–05.12.2008р.