



**НОВИНИ УКРАЇНСЬКОГО ТОВАРИСТВА
НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ**
член Європейської федерації з неруйнівного контролю
член Міжнародного комітету з неруйнівного контролю



Технології та засоби для НК

МЕТОДИ ДЕФЕКТОСКОПІЇ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ (СТ-МОНІТОРИНГ КОНСТРУКЦІЙ)

В.О. Троїцький

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: usndt@ukr.net; ndt.inpat@gmail.com

Прагматичний швидкий пошук тріщин у старих і пошкоджених металоконструкціях без зачистки їхньої поверхні. Тріщиноутворення, корозійне ураження та старіння металу є основним недоліком довго експлуатованих металоконструкцій [1, 2]. Найчастіше ці споруди мають і несприятливі умови для задовільної зачистки їхньої поверхні, що потрібно за правилами неруйнівного контролю. У воєнний час є багато руйнувань конструкцій і споруд, долю яких потрібно вирішувати негайно.

Для оцінки стану таких об'єктів у КНР з'явився електромагнітний метод АСФМ (Alternative Current Field Measurement – Метод вимірювання полів змінного струму). Назва не є дуже вдалою (переклад з китайської та англійської мов). Цей метод – прагматичний та швидкий, його розроблено для моніторингу старих металоконструкцій.

Прилади АСФМ призначені тільки для виявлення протяжних небезпечних уражень у вигляді глибоких тріщин без зачистки поверхні об'єкта. Важливо знайти критичне велике внутрішнє напруження на грані руйнування. Такий підхід до пошуку критично небезпечних зон надалі будемо

називати Crack Testing (СТ). Принцип СТ може реалізуватися не тільки методом АСФМ, але й традиційними методами ЕМА, MFL, ВТ, НЧ УЗК [3–7]. У табл. 1 систематизовано результати порівняння вищенаведених методів із позиції СТ-моніторингу.

При СТ-обстеженні старих зовнішньо цілісних металоконструкцій цінується швидкість, низька вартість, відсутність «хибних» рішень, безперечність результату. При цьому, важливо застосовувати не той метод НК, який є найчутливішим до дрібних дефектів, а той, який не пропустить великий небезпечний дефект без зачистки ізоляції. Дрібних дефектів завжди багато. Вони не можуть бути причиною аварій найближчим часом. Інформація про дрібні дефекти в ідеології СТ малоцікава. Зазвичай найнебезпечнішим дефектом є велика закрита тріщина. Як правило, пошук небезпечної тріщини на «поганих» (кородованих) поверхнях повинен здійснюватися через захисні шари різних покриттів, тобто з великими зазорами між НК-перетворювачем та поверхнею об'єкта. СТ-моніторинг не розрахований на високу чутливість і складну якісну зачистку поверхні. Важливішою

Таблиця 1. Порівняння можливостей спорідненими методами НК у режимі СТ-моніторингу (прихованих великих зон напруження без зачистки)

Властивості \ Метод НК	РТК	АСФМ	MFL	BC	ЕМА	МПК	НЧ УЗК
Суб'єктивність думки оператора	–	+	–	–	+	+	+
Вплив якості поверхні	–	+	±	±	–	–	–
Витратні матеріали	–	–	–	–	–	+	–
Можливість контролю кольорових металів	+	+	–	+	+	–	+
Вплив вимірювання товщини	–	+	+	–	+	±	–
Залежність сигналів від зазорів	–	+	±	±	+	±	+
Контакт із поверхнею	–	–	–	+	–	+	–
Умовна загальна вартість НК 1 п. м	1	1	5	10	1	1	0,5
Швидкість рішення умов	1	1	0,5	0,1	1	0,5	10

Примітки: РТК, АСФМ, MFL, BC, ЕМА, МПА, НЧ УЗК [1]

+ так; ± прийнятно, частково обмежено; – ні

є можливість безеталонного визначення розмірів небезпечних тріщин. Тому цікаво принцип АCFM порівнювати зі спорідненими методами: ЕМА, MFL, магнітопорошковим (МПК) та вихрострумовим (BC) методами контролю, які можуть мати перевагу в порівнянні з АCFM у конкретних умовах.

Результати порівняння близьких, альтернативних до АCFM приладів НК, які можуть бути застосовані для виявлення прихованих великих тріщин і корозійних зон, показано в табл. 1. Прилади АCFM, що випускаються зараз, забезпечують швидкість сканування до 0,3 м/с. Це – швидкий, простий метод пошуку та оцінки великих несутцільностей без еталонування та зачистки поверхні. І в цьому – його перевага! Але є й інші рішення на основі традиційних методів НК, які можуть бути кращими.

Прилади АCFM, розроблені компанією TSC Inspection Systems (TSC) на початку 1990-х років для морських споруд, застосовуються зараз у різних країнах. Таких приладів немає в Україні. У АCFM-перетворювача (рис. 1) є індуктор з двома котушками, якими протікає змінний електричний струм, під впливом якого індукується струм в об'єкті контролю. Якщо великих несутцільностей немає, то наведений струм рівномірно розподілений під перетворювачем. За наявності дефекту (тріщини) рівномірність потужного електричного випромінювання (вихрового струму) порушується. Тріщини можуть бути розпізнані та кількісно оцінені за сигналами магнітної матриці або одиночного датчика, що розташовується між індуктором і виробом.

На рис. 2 наведено типові зображення сигналів на дисплеї приладу АCFM (рис. 3) при проходженні перетворювача над дефектом. Протяжність дефекту визначається впадиною на графіку. Найглибша точка цієї кривої відповідає найглибшій частині тріщини. Піки на цьому графіку вказують на розташування кінців тріщини. Щоб полегшити інтерпретацію результатів у правій стороні екрана, побудовано характерну петлю дефекту. Форма цієї петлі характеризує дефект, як при вихрострумовому методі. Ця фігура є нечутливою до швид-

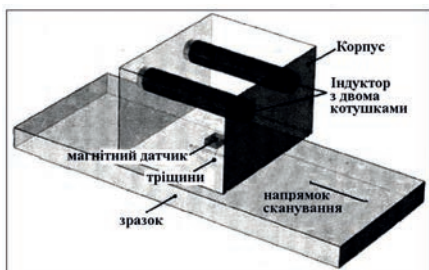


Рис. 1. Конструктивна схема перетворювача СТ-методу АCFM TSC Amigo

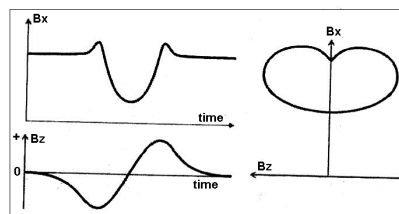


Рис. 2. Інформація про тріщину на екрані приладу АCFM: B_x , B_z – складові магнітного поля над дефектом за координатами X і Z

кості контролю та покращує розуміння результатів контролю. Програмні алгоритми приладу миттєво визначають довжину та глибину тріщини, будують графіки.

Індуковані перетворювачем АCFM струми протікають у тонкому шарі поверхні металу. Глибина проникнення змінного електромагнітного поля для феритних матеріалів менша, ніж для кольорових металів.

Сигнал від підповерхневої аномалії набагато менш «гострий», ніж сигнал від тріщини на поверхні. Тому для виявлення дефектів, що знаходяться під поверхнею, необхідно посилювати збудження. З цієї причини слід використовувати нижчі частоти. Глибина проникнення в металах із низькою електричною провідністю (таких як нержавка сталь, титан, нікелеві сплави, бронза і т.п.) становить близько 5...8 мм при 5 кГц. Глибина проникнення в металах із високою електричною провідністю (таких як алюміній, мідь і вольфрам) менша і становить близько 1...2 мм. У порівнянні з РТК об'ємні дефекти, такі як корозія або пористість при АCFM, дають набагато слабкіші сигнали, ніж плоскі дефекти. Не викликає сумніву, що зношений метал має меншу щільність, магнітну та електричну провідність, що теж треба враховувати. Прилади АCFM засновані на індукуванні вихрових струмів і зчитуванні за допомогою магнітних датчиків (рис. 1–3). Проте в арсеналі традиційних методів НК є набагато більше можливостей. Перспективним є СТ-моніторинг, тобто пошук великих тріщин за допомогою ультразвуку. Це, наприклад, електромагнітоакустичний (ЕМА) метод, який не



Рис. 3. Система АCFM компанії TSC Amigo для виявлення значних тріщин

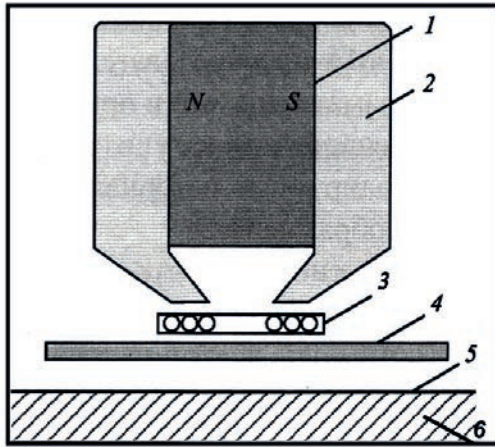


Рис. 4. Схема ЕМА-перетворювача: 1 – магніт; 2 – концентратори магнітного поля; 3 – котушка збудження; 4 – протектор; 5 – зазор; 6 – об'єкт

вимагає контакту з поверхнею об'єкта, що є дуже важливим для СТ-моніторингу. На рис. 4, 5 наведено схему та фізичні принципи ЕМА-перетворювачів. При ЕМА УЗК є можливість роботи через неметалеве (діелектричне) покриття до 4 мм. Тому метод ЕМА, також як при ACFM, для СТ-ідеології є дуже перспективним.

Magnetic Flux Leakage (MFL) Technology – технологія магнітного неруйнівного контролю, що реалізується, наприклад, на основі датчиків Холла, є також перспективною. У цьому випадку, внаслідок локального намагнічування матеріалу з'являється магнітний потік розсіювання над поверхнею об'єкта, який реєструється датчиками Холла. Проте цей метод гірше працює за наявності зазору між перетворювачем і об'єктом контролю (ОК).

Сьогодні методи ЕМА та MFL успішно застосовуються для товщинометрії.

Вихрострумний (ВС) метод, залежно від розмірів котушок збудження та зазору, може виявляти

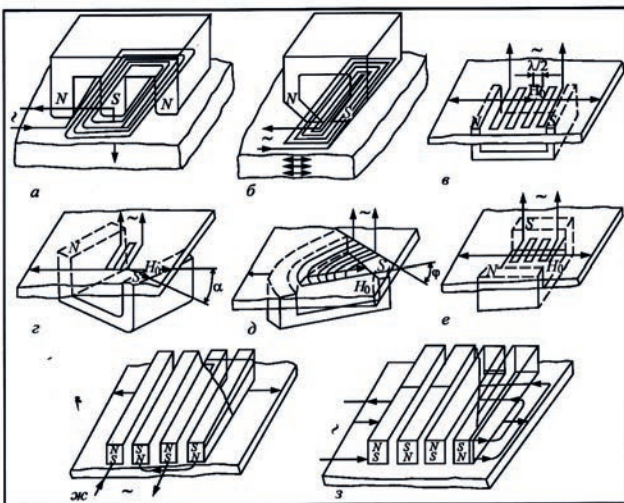


Рис. 5. ЕМА для збудження та прийому УЗ хвиль: а – поздовжньої; б – поперечної; в-з – хвиль Лемба та зсувних нормальних (SH) хвиль

ти найменші дефекти, аж до визначення структури матеріалу. Магнітне поле вихрових струмів є протилежним до первинного магнітного поля збуджуючої обмотки, тому результуюче поле залежить від електромагнітних властивостей старого металу та від зазору між ОК і датчиком. Проте за завданням СТ-моніторингу, тобто пошуку тільки великих тріщин, збуджуючі обмотки повинні бути потужними, великих розмірів і витягнутими. Тому в табл. 1 класичний метод ВС має багато мінусів. Використання міцних вихрострумних перетворювачів робить СТ-контроль на порядок дорожчим. ВС-перетворювач для СТ-контролю – це перспектива ACFM.

Усі сім методів НК (табл. 1) можуть бути застосовані для СТ-моніторингу.

При виборі фізичного методу для реалізації СТ-ідеї треба зуміти відповісти на питання: «Який найбільший дефект не може бути пропущений?» при «непідготовленому» або погано підготовленому об'єкті під НК. На «поганих», кородованих поверхнях через старі захисні покриття СТ-моніторинг не повинен бути надчутливим. У КНР прилади ACFM можуть надійно виявляти тріщини завдовжки 10 мм та завглибшки 1 мм на багатопрохідних зварних швах, або завдовжки 5 мм та завглибшки 0,5 мм на «хороших» поверхнях, тобто різниця визначається якістю поверхонь.

Правильне проведення СТ-моніторингу старих металоконструкцій має складатися з трьох етапів:

- загальна оцінка стану металу, наприклад, за проходженням УЗ-коливаль. Якщо УЗ-коливання не проходять, то це вже не сталь, не тверде кристалічне тіло.

- СТ-моніторинг та оцінка необхідності подальших процедур НК.

- традиційний НК згідно з регламентом до та після ремонту, якщо в цьому буде потреба.

У пошуках небезпечної тріщини істотним є взаємна орієнтація перетворювача та площини тріщини. У разі одного чутливого датчика в НК-перетворювачі сканування повинно проводитися з повертанням на 90°, щоб виявляти поздовжні та поперечні тріщини. Після визначення орієнтації тріщини проводиться сканування вздовж тріщини для визначення її розмірів. Усе вирішується простіше в разі матричного датчика всередині НК-перетворювача.

Таким чином, для пошуку тільки великих тріщин, корозійних уражень та ін. без ретельної підготовки поверхні (СТ-ідея) найкраще буде працювати той метод, в якому функції збудження та виявлення розділені. З часом СТ-моніторинг буде працювати на різних принципах, включаючи ЕМА-ультразвук, вихрострумний та MFL мето-



Рис. 6. Типова система для рентгенотелевізійного контролю

ди. Якщо знайдено неприпустиму велику тріщину (інша несущість), то традиційний НК не потрібен. Так само, якщо встановлено, що метал так постарів, що втратив властивості твердого тіла (не пропускає ультразвук), то подальше вивчення об'єкту може бути здійснене тільки за допомогою РТК [8–12] (рис. 6).

Низькочастотний ультразвуковий контроль протяжних об'єктів, оцінка деградації металу, великих внутрішніх дефектів протяжних об'єктів. У період відродження України після воєнного часу треба звернути увагу на низькочастотний далекодіючий ультразвуковий контроль (НЧ УЗК). Свого часу один із розробників даної технології, британський вчений Peter Mudge із Британського інституту технологій зварювання запросив (рис. 7) запросив УТ НКТД взяти участь у двох великих європейських наукових проєктах із НЧ УЗК: LRUCM (Long Range Ultrasonic Condition Monitoring) і ShipInspector, які завершилися створенням апаратури НЧ УЗК. Технологія НЧ УЗК швидко просувається в США, Англії, Німеччині та інших країнах. Зважаючи на це, як ця ідея за останній десяток років просунулась у світі, можна припустити, що за



Рис. 7. Ділове спілкування з Peter Mudge з проблематики методу LRUT

нею майбутнє в моніторингу різних технологічних трубопроводів. Технологічні трубопроводи в Україні зараз поступово руйнуються, не маючи регламентів і гідної нормативної бази для їхнього моніторингу. Технологічних трубопроводів набагато більше, ніж магістральних, а регламентів із НК для них в Україні немає зовсім!

На основі проходження НЧ УЗ-коливань можливо оцінювати ступінь старіння металу. Відомо, що згодом, залежно від того, як експлуатувався металевий об'єкт, відбувається швидка або повільна деградація металу. З роками метал перетворюється на порошок. Покажемо, як на основі глибини проходження НЧ УЗ-коливань можна ввести бальність деградації металу. У новому металі хвиля низької частоти поширюється на відстань L у сотні метрів. У сильно деградованому металі, який значно втратив пружні властивості твердого тіла, ці коливання швидко загасають та майже не поширюються ($L \gg 0$).

За основу призначення бала повноцінності Q металу може бути взята довжина Δ зондувального імпульсу, властива всім УЗ-випромінювачам: $Q = (L - \Delta)/L$. Тоді, якщо УЗ-коливання загасають лише на рівні протяжності цієї зони ($L < \Delta$ чи $L \approx \Delta$), то якість металу як твердого тіла приблизно дорівнює нулю, тобто це вже потерть, поцяткована міжкристалітною корозією, а не тверде кристалічне тіло. Відповідно, для нового кристалічного металу $Q \approx 1$, коли довжина проходження НЧ-коливань $L \gg \Delta$. Можливо, хтось зацікавиться цією ідеєю загальної оцінки стану металу та глибоко пропрацює цю можливість.

Старий метал є небезпечним. Труби з такого металу є неприпустимими для експлуатації. Наші дослідження на складах теплообмінних пунктів і на теплових трасах показали, що досить часто НЧ-коливання повністю загасають, не пройшовши й кількох метрів, тоді як ззовні ці труби виглядають благополучними. При цьому не можна забувати про характер, тип ізоляції та чим заповнена труба. Запропонована вище оцінка деградації стосується труб без їхнього заповнення та ізоляції.

Існує багато способів оцінки створення рівня стану металу, які порівнюють багато властивостей, а не тільки акустичні властивості нового та старого металу. Нами пропонується метод безеталонний, тобто без еталону з непрацюючого металу, де не потрібний зразок аналогічного нового металу. Кожне відомство може для своїх експлуатаційників встановлювати свою бальність деградації, рівень допустимості до роботи старого металу. Наприклад, для труб немагістрального газотранспортного сортаменту може бути рекомендована 5-бальна система оцінки старіння металу:

- I – висока якість, новий метал: $Q = 1; L \geq 10\Delta$;
- II – середня якість: $Q = 0,9; L \leq 10\Delta$;
- III – тимчасово допустиме до експлуатації: $Q \approx 0,8; L \approx 5\Delta$;
- IV – низька якість: $Q < 0,8; L < 5\Delta$;
- V – неприпустима експлуатація: $Q \ll 0,8; L \ll 5\Delta$.

Буде чи ні прийнятий такий метод оцінки деградації, але ясно одне, що перш ніж застосовувати НЧ-діагностику, слід поцікавитися якістю металу, а не його віком, як і тим, чим був заповнений трубопровід, наявністю на ньому ізоляції, її акустичних властивостей. Усі ці обставини повинні бути відображені у відомчих стандартах на цей метод. Без урахування цих відомостей метод НЧ УЗК не є надійним. Однак він має серйозне майбутнє, тому що дуже простий.

Багато сил та часу нами у мирний час витрачено на поширення в Україні низькочастотного УЗК для оцінки стану технологічних трубопроводів. Ейфорія, пов'язана з універсальністю, можливостями цього методу, вже пройшла. Зараз ми зрозуміли, яке місце цей вид моніторингу стану може зайняти під час діагностики протяжних об'єктів. Для того щоб цей метод знайшов широке застосування в Україні, потрібна відомча нормативна база. Про порівняння традиційних методів УЗК і низькочастотного наведу досвід США, де були дуже цікаві «перегони» на Аляскінському нафтопроводі. В американському журналі TNT, що видається для інженерів-практиків NDT, опубліковано статтю «Альтернативні NDT технології для розшифрування пошкоджень, що сталися на трубопроводі в затоці Прудхое на Алясці». Дані аварії спонукали уряд США до пошуку нетрадиційних методів діагностики трубопроводів, що, на диво, збіглося за часом з тим, що робилося нами в Україні разом з англієцями з TWI за низькочастотними технологіями. У серпні 2006 р. велика нафтова компанія на Алясці пережила другий інцидент, пов'язаний з аварією на нафтопроводі, з порушенням екологічно крихкої природи Аляски. Обидві аварії були результатом внутрішньої піттингової корозії на нафтопроводах у чотири нитки, кожна діаметром 0,85 м. Цими лініями транспортується 400000 барелів агресивної нафти на день із Аляски. У США після першої аварії чотири нитки нафтопроводу були обстежені традиційним ручним та автоматизованим УЗК. Після другої аварії було зроблено негайне перекриття поставок нафти з Аляски в 48 штатів, доки не буде виконано повний повторний НК усього нафтопроводу. Інформація про потенційну небезпеку екологічної катастрофи швидко дійшла до національних засобів масової інформації. Уся Америка почала спостерігати за фахівцями з НК, від оперативності яких залежали розмі-

ри збитків. Міністерство транспорту США видало припис про терміновий автоматизований УЗК усіх чотирьох ниток нафтопроводів тільки в найнебезпечнішій зоні від 4 до 8 год, тобто було вирішено відмовитися від досліджень верхньої частини нафтопроводу. Контроль за допомогою традиційного УЗК вимагав видалення поліуретанової ізоляції та ретельної підготовки поверхні труб. Знадобилася велика кількість робітників, які займаються зачищенням ізоляції. Для робіт із УЗК одного км труби необхідно було 108 робітників. Тому постало завдання знайти альтернативні методи традиційному УЗК, які будуть за точністю не гірше, ніж традиційні УЗ-засоби. Треба було виявити внутрішні корозійні язви з $>50\%$ товщини стінки при співвідношенні геометричних розмірів у плані 3:1. Після того як виникла друга аварія, ці вимоги до НК посилилися. Тепер зажадали забезпечення всі 100 % виявлення будь-якої несущальності. Для виконання традиційного УЗК кожна нитка трубопроводу була розділена на контрольовані ділянки по 0,3 м, що призвело до створення 52 тис. окремих ділянок. Ділянки перевірялися за допомогою ручного ультразвуку для оцінки мінімальної та середньої товщини стінки у межах сегменту від 4 до 8 год, тобто в нижній частині труби нафтопроводу, де постійно присутня нафта. Одна група з 108 спеціалістів традиційним УЗК перевіряла у середньому 283 сегменти на день. Був застосований ручний і традиційний автоматизований УЗК. Цього було недостатньо. Південні штати потребували нафти. Швидкість автоматизованого УЗК дорівнювала 4,5...6,0 м на команду за зміну – це дуже низька швидкість, тому що потрібно було додаткове уточнення АУЗК ручним скануванням. Якщо б не був застосований низькочастотний метод УЗК, то контроль 52000 ділянок зайняв би більшу половину року, тобто 184 дні.

Крім традиційного УЗК із використанням п'єзовипромінювачів по зачищеній поверхні, були проведені випробування без зняття ізоляції електромагнітоакустичних перетворювачів (ЕМАП), орієнтованих по осі корозії в точці торкання опори труби, тобто в положенні 6 год. Було визначено, що ЕМА-технологія дозволяє виявляти утонення стінки більш ніж на 30 % на відстані 0,5 м від опори. Із застосуванням ЕМАП було призупинено зняття ізоляції. Далі виконувався вже автоматизований УЗК на основі ЕМАП через антикорозійне покриття завтовшки 4 і 8 мм. Випробування за допомогою ЕМАП по ізольованій трубі є повністю еквівалентними до контролю по трубі без ізоляції, що суттєво пришвидшувало діагностику, але цього було недостатньо. Без низькочастотного ультразвуку (НЧ УЗК) обійтись було неможливо,

він дозволяє десятикратно збільшити продуктивність НК. Якщо ЕМАП технологія широко розповсюджена в США та признана в документі ASTM E1816, то технології як п'єзоелектричного низькочастотного УЗК, так і електромагніто-акустичного (ЕМАП) низькочастотного контролю були абсолютно новими, не мали нормативної бази. Однак уряд вимагав прискорення робіт. Незабаром результати польових випробувань показали, що:

- команда з двох осіб за допомогою НЧ УЗК, ЕМАП змогла перевірити 300 м за зміну;
- технологія низькочастотного ЕМАП дає не точкові зображення, а всього контролюваного сегменту 4...8 год;
- після закінчення робіт із традиційним ЕМАП необхідно було виконувати уточнюючі УЗ вимірювання товщини звичайними методом;
- НЧ УЗК продемонстрував 100 % виявленість ізольованого піттингу при втраті 25 % товщини стінки щодо розмірів дефекту в плані 3:1;
- результати НЧ УЗК, отримані на зачищеній поверхні дають рівень помилкових надлишкових сигналів менше за 1 %.

НЧ УЗК дає результати кращі, ніж автоматизований традиційний УЗК або ЕМАП при ізоляції із фторполімеру. При цьому довжина об'єкта, що контролювалася командою з двох осіб, що використовувала ручний прилад для НЧ УЗК через допоміжні операції, не перевищувала 60 м/день. При автоматизації та покращених кріпленнях датчиків НЧ ЕМК (антени) продуктивність сканування підвищилася до 3 м/хв, тобто за робочий день вже контролювалося понад 1 км труби. Це був успіх низькочастотного УЗК. До появи НЧ УЗК, альтернативного традиційним технологіям, сотні знімачів ізоляції, очищувачів ізоляції та техніків УЗК працювали одночасно 24 год на добу. Новий альтернативний метод НЧ УЗК був прийнятий Міністерством транспорту США.

Перші стандарти з методу НЧ УЗК почали з'являтися тільки з 2009 р. (італійський стандарт UNI/TS 11317 – 2009 р., японський стандарт JIS-NDIS 2427 – 2010 р.). На західний ринок виходить вже декілька поколінь цих систем контролю якості без сканування поверхні об'єкта.

У наших умовах метод і системи НЧ УЗК повинні використовуватись для випадків [13]:

- перетину доріг трубопроводів при проходженні через стіну, під дорогами;

- коли необхідний 100 % контроль обсягу перерізу труби;

- контроль при застосуванні різних типів опор;
- контроль наявності корозії під ізоляцією (з мінімальним видаленням ізоляції);

- порівняння якості кільцевих монтажних швів і т.ін.

Зараз існують методики підготовки та сертифікації персоналу з методу НЧ УЗК відповідно до загального стандарту з неруйнівного контролю EN 14748:2004.

У відділі № 4 ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ розроблено два діагностичні ультразвукові комплекси для визначення корозійного зносу трубопроводів діаметром до 330 і 630 мм із резонансною частотою 36 і 16,3 кГц (рис. 8–11).

Вони складаються з наступних блоків:

- акустичної антени (кільцевого блоку акустичних перетворювачів, розташованих рівномірно по діаметру труби із зовнішнього боку, притиснутих до труби);
- блоку збудження зондувальних імпульсів, прийому відбитих сигналів і програмного управління режимами;
- персонального комп'ютера для реєстрації, обробки та аналізу отриманої інформації.

Порівняльні результати вимірювання відстаней до дефектів за допомогою рулетки та отримані на екрані монітора за допомогою НЧ УЗК наведено на рис. 8 та у табл. 2. Розрахунок відстані до шва та дефектів виконувався за формулою $L = vt/2$, де t – час проходження відбитого луно-сигналу на ос-

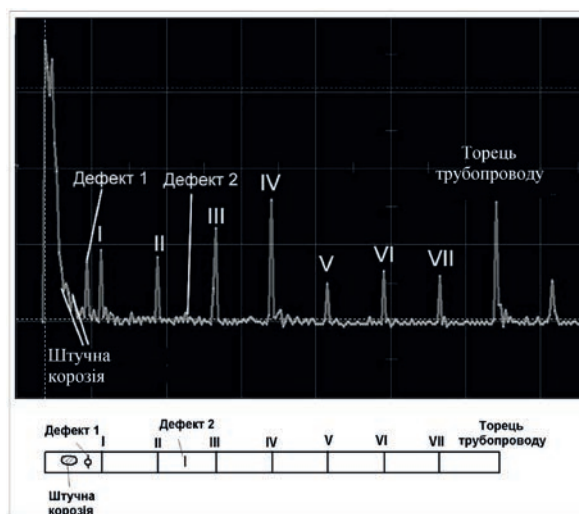


Рис. 8. Осцилограма луно-сигналу на експериментальній ділянці трубопроводу завдовжки 48 м. Римськими цифрами показано нумерацію швів трубопроводу

Таблиця 2. Порівняльні результати вимірювання відстаней до дефектів

Метод	Д1	I	II	Д2	III	IV	V	VI	VII	Торець
Розрахунковий по УЗК, м	4,15	6,05	12,12	14,97	18,35	24,48	30,78	36,59	42,88	48,68
Вимірювання рулеткою, м	4,25	6,04	12,09	15,25	18,34	24,45	30,56	36,62	42,69	48,69

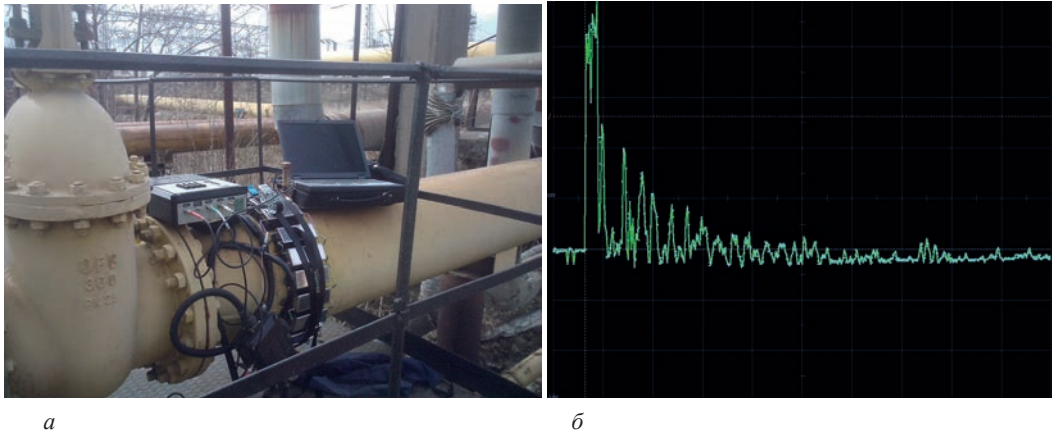


Рис. 9. Контроль наземної ділянки (а) газопроводу завдовжки 150 м та осцилограма (б) НЧ УЗ луно-сигналу

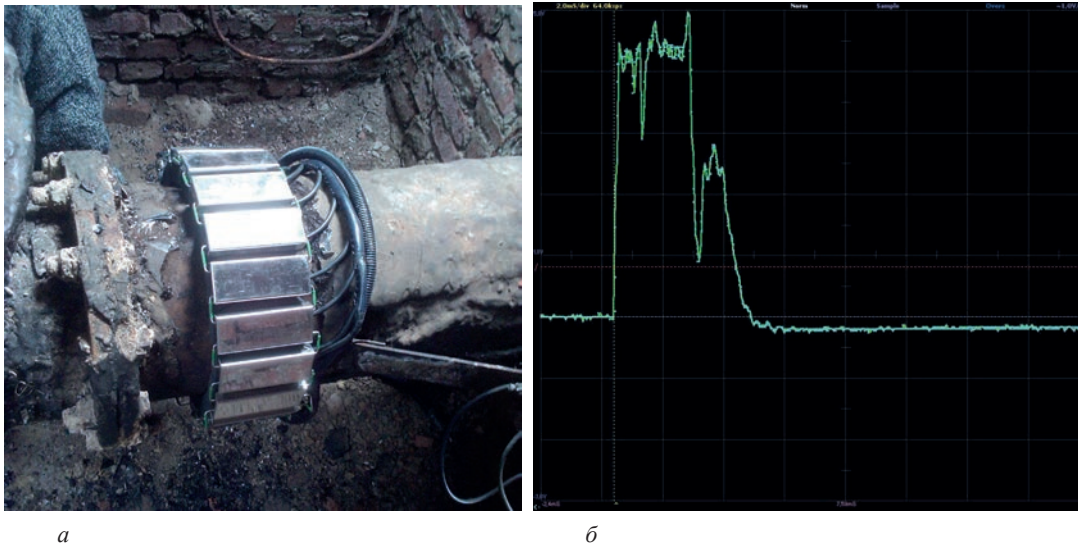


Рис. 10. Контроль підземної ділянки газопроводу з протикорозійною брізольною (а) ізоляцією та осцилограма луно-сигналу (б)

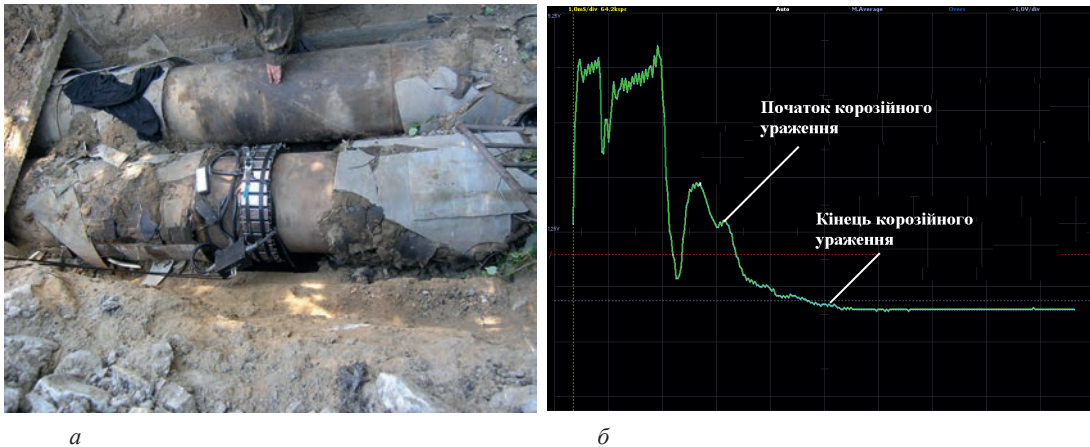


Рис. 11. Контроль підземної ділянки (а) діючої теплотраси та осцилограма (б) луно-сигналу від корозійно-ураженого трубопроводу

цилограмі; v – швидкість поширення ультразвуку для торсійних хвиль.

Усі сім швів цього трубопроводу виконані одним зварником ручним дуговим зварюванням, проте, як випливає з рис. 8, тільки два кільцеві монтажні шви V–VII приблизно рівної якості. Особливо неякісним є шов IV, тоді як акустичні портрети кільцевих монтажних швів мають бути однаковими.

Цікаві результати нами отримані на відкритих ділянках газопроводу Красноперекопського бромзаводу (рис. 9), труба $\varnothing 330$ мм, товщина стінки 8 мм. Вони показали потенційні можливості, успішність використання НЧ УЗ методу для обстеження протяжних ділянок трубопроводів до 150 м від місця встановлення антени. Там же проводилися обстеження підземної ділянки газопроводу, вкри-

тої посиленою протикорозійною брізольною ізоляцією завтовшки 9 мм (рис. 10). Тут акустичні хвилі практично згасали одразу ж, не рухаючись у тіло труби.

Цікаві тривалі дослідження щодо визначення можливості виявлення корозійних уражень методом НЧ УЗ проводилися нами й на складі-полігоні труб ТЕЦ у м. Вишневе Київської області з досить великою кількістю нових і вживаних труб із різними видами захисної ізоляції. Було експериментально підтверджено, що для бітумних покриттів із великим поглинанням УЗ-коливань дальність акустичного контролю трубопроводів не перевищувала 1...3 м. Досить добре пружні хвилі проходять по трубах із теплоізоляцією, подібної, наприклад, до пінопласту, з подальшою гідроізоляцією. Довжина експериментальних зразків труб досягала 8...12 м. При цьому виявлялися ділянки корозійних уражень, зони отворів, врізок тощо.

Там же успішно пройшли дослідження з виявлення корозійних уражень на підземних ділянках діючої теплотраси (рис. 11). При гідравлічних випробуваннях теплотраси несподівано з'явився витік на одній із її ділянок. Після шурфування на відкритому трубопроводі нам дозволили встановити акустичну антену. Так було виявлено ділянку майбутнього корозійного ураження на відстані 6 м з точністю до 30 см, яка потенційно могла би бути зоною чергового прориву теплотраси. Цей випадок показав потенційні можливості використання методу НЧ УЗ для виявлення старих труб із високим ступенем корозійних уражень. Причому інтерпретація результатів контролю в цьому випадку є порівняно простою – сигнал на ділянці сильного корозійного ураження практично повністю згасає. Таким чином, на складі вживаних труб вдалося розсортувати, ви-

брати для подальшого використання достатньо хороші труби (6...8 м), в яких не було сильного поглинання УЗ коливань.

Усі види НК починаються та закінчуються (після виконання ремонту) візуально-вимірним контролем (ВВК). Для підвищення об'єктивності та швидкості ВВК в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України розроблено відповідну апаратуру з використанням лазерних променів. На рис. 13 наведено фото такого приладу, в якому на магнітних колесах великого діаметра (Ø 110 мм) по поверхні металокопункції у будь-яких просторових положеннях переміщуються два лазерні вказівники та відеокамера, що формує цифрове зображення зварного шва. Інформація про місцезположення та розміри дефектів транслюється на екран смартфона (на монітор комп'ютера) для докладного обстеження зварного з'єднання.

Список літератури

1. Троицкий В.А. (2022) *Мониторинг состояния конструкций. Введение в профессию. 120 учебно-методических плакатов и методик по НК*. Киев.
2. Пашин М.О., Кот В.Г., Миходуй О.Л та ін. (2026) Удосконалення неруйнівного ультразвукового методу визначення залишкових напружень у зварних з'єднаннях із низьколегованих сталей. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 1, 3–7. DOI: <https://doi.org/10.37434/tdnk2026.01.01>
3. Троицкий В.О., Карманов М.Н., Михайлов С.Р. (2022) Досягнення ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України в галузі рентгенотелевізійного, ультразвукового та інших методів неруйнівного контролю (Огляд). *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 2, 35–43. DOI: <https://doi.org/10.37434/tdnk2022.02.05>
4. Троицкий В.О. (2025) Дефектоскопія у воєнний час. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 2, 49–53.
5. Троицкий В.О. (2025) Технології оцінки напруженого стану металу в зоні зварного шва. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 3, 55–60.
6. Троицкий В.О. (2024) *Моніторинг труб магістральних та промислових трубопроводів*. Київ, Інтерсервіс.
7. Troitskiy, V.A. (2026) *Main directions of defectoscopy and monitoring. Album of educational porters on NDT*. Kyiv, Interservice.
8. Троицкий В.О. (2020) Перспективи радіаційного контролю магістральних трубопроводів та інших складних конструкцій. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 1, 28–36 DOI: <https://doi.org/10.37434/tdnk2020.01.03>
9. Троицкий В.О., Карманов М.М., Михайлов С.Р. та ін. (2020) Скануючі рентгенівські системи на основі мініатюрних твердотільних перетворювачів. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 3, 43–47. DOI: <https://doi.org/10.37434/tdnk2020.03.06>
10. Троицкий В.О. (2023) Дефектоскопія зварних з'єднань, моніторинг стану конструкцій радіоскопічними засобами. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 1, 55–57.
11. Троицкий В.О., Карманов М.М., Михайлов С.Р., Шалаев В.О. (2024) Підвищення точності рентгенівського 2D сканування з використанням мінісенсора. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 4, 43–46. DOI: <https://doi.org/10.37434/tdnk2024.04.07>
12. Троицкий В.О., Михайлов С.Р. (2023) Оцінка якості бронепластин за допомогою рентгенотелевізійного контролю. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 3, 55–56.
13. Троицкий В.О. (2024) Про можливості практичного застосування низькочастотного ультразвукового контролю протяжних об'єктів. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*, 1, 53–56.



Рис. 13. Рухома магнітна платформа з відеокамерою для візуально-вимірним контролем
Описане вище обладнання з РТК, НЧ УЗК, ВВК розроблено в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, є працездатним та чекає на своїх замовників.

Вітаємо Голову УТ НКТД, професора ТРОЇЦЬКОГО ВОЛОДИМИРА ОЛЕКСАНДРОВИЧА

з престижною нагородою Європейської федерації з неруйнівного контролю!

Даною нагородою відзначаються особи, які діють на благо європейської та міжнародної спільноти НК, за вагомі досягнення у сфері популяризації та розширення діяльності EFNDT, стандартизації методів НК, сертифікації персоналу з НК.

Про престижність цієї нагороди свідчить той факт, що вона присуджується один раз на чотири роки всього лише трьом діячам під час урочистої церемонії відкриття Європейської конференції з НК. Цього-річ її лауреатами крім В.О. Троїцького стали також David Gilbert – Генеральний секретар Міжнародного комітету з НК (ICNDT), Виконавчий директор Британського інституту з НК (BINDT) та Ezio Tuberosa – Президент Італійського товариства з НК, Віце-президент Європейської федерації з НК (EFNDT).



Підтвердили членство в УТ НКТД на новий термін

■ Балєв Володимир Миколайович

к.т.н., професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Богдан Галина Анатоліївна

к.т.н., доцентка кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

■ Галаган Роман Віталійович

к.т.н., доцент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

■ Горкунов Борис Митрофанович

д.т.н., професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Григоренко Ігор Володимирович

д.т.н., професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Григоренко Світлана Миколаївна

к.т.н., доцентка кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Деменкова Світлана Дмитрівна

старша викладачка кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Дроздова Тетяна Василівна

к.т.н., доцентка кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Зайцева Лілія Василівна

к.т.н., доцентка кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Защепкіна Наталія Миколаївна

д.т.н., професорка кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

■ Здоренко Валерій Георгійович

д.т.н., професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

■ Кубай Микола Михайлович

керівник відділу ТзОВ «Кипер-Пласт», м. Львів

■ Лисенко Володимир Валерійович

к.т.н., доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Лисенко Юлія Юріївна

к.т.н., доцентка кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

■ Львов Сергій Геннадійович

к.т.н., професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Павловський Олексій Михайлович

к.т.н., доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

■ Повшенко Олександр Анатолійович

Ph.D., асистент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

■ Плєснецов Сергій Юрійович

д.т.н., професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Плєснецов Юрій Олександрович

к.т.н., професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Смолін Юрій Олександрович

к.т.н., професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Хомяк Юрій Валентинович

к.т.н., доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

■ Чуніхіна Тетяна Віталіївна

к.т.н., доцентка кафедри інформаційно-вимірювальних технологій НТУ «Харківський політехнічний інститут»

Стандартизація (питання та відповіді)

Які ознаки офіційних текстів національних стандартів?

Наказом ДП «УкрНДНЦ» №25 від 27.02.2026 р. затверджено Технічний опис ознак офіційних текстів національних нормативних документів для друкованих та електронних форматів.

Документ встановлює єдині вимоги до оформлення офіційних текстів нормативних документів, що забезпечує їхню автентичність, захист та уніфікованість незалежно від формату.

Офіційні тексти стандартів мають чіткі ознаки ідентифікації, зокрема:

- QR-код на інформаційній сторінці для перевірки документа;
 - водяні знаки на кожній сторінці з даними про реєстраційний номер, покупця та дату придбання;
 - захищений електронний формат (PDF), що унеможливує несанкціоноване редагування.
- Прийняття цього рішення сприятиме:
- однаковому відтворенню текстів у друкованих та електронних версіях;
 - підвищенню довіри до офіційних публікацій;
 - посиленню захисту від несанкціонованого використання;
 - наближенню практик до міжнародних підходів.

Як формується вартість робіт зі стандартизації та хто бере участь у їх фінансуванні?

Розроблення стандартів – це комплексна експертна робота, яка містить аналіз, підготовку, погодження та гармонізацію вимог із міжнародними й європейськими стандартами.

Відповідно до Закону України «Про стандартизацію» фінансування робіт зі стандартизації може здійснюватися:

- за рахунок коштів державного бюджету;
- за рахунок коштів суб'єктів господарювання;
- у межах програм і проєктів;
- з інших джерел, не заборонених законодавством.

Участь бізнесу у фінансуванні окремих робіт зі стандартизації є сталою практикою в країнах ЄС та світі. Такий підхід дозволяє швидше оновлювати стандарти, підтримувати розвиток сучасних технологій і підвищувати конкурентоспроможність продукції. Законодавством України також передбачена можливість виконання окремих робіт зі стандартизації на договірних засадах.

Вартість робіт зі стандартизації залежить від:

- складності та обсягу робіт;
- необхідності залучення профільних експертів;
- опрацювання міжнародних і європейських документів;
- проведення технічних погоджень і процедур.

Окремі європейські стандарти можуть прийматися як національні методом підтвердження – мовою оригіналу. Такий підхід є швидшим і менш витратним, ніж переклад, однак може створювати ризики неоднозначного тлумачення окремих положень.

За потреби замовник може отримати в ДП «УкрНДНЦ» деталізовані розрахунки вартості робіт.

Чому не всі національні стандарти доступні безкоштовно?

Доступ до національних стандартів в Україні формується відповідно до законодавства та міжнародних зобов'язань у сфері стандартизації.

Закон України «Про стандартизацію» визначає, що ДП «УкрНДНЦ» як національний орган стандартизації обов'язково публікує у відкритому доступі:

- національні стандарти, обов'язковість застосування яких встановлена нормативно-правовими актами;
- національні стандарти, розроблені за рахунок бюджетних коштів.

Водночас значна частина стандартів – це гармонізовані міжнародні та європейські документи. Їхнє розповсюдження відбувається за правилами організацій, які їх розробили – зокрема CEN та CENELEC.

У європейській системі стандартизації діє комерційна модель: стандарти є об'єктом авторського права, а їхній продаж – одним із ключових механізмів фінансування системи стандартизації. Саме тому стандарти, які Україна приймає як національні та гармонізує з європейськими і міжнародними, розповсюджуються на комерційній основі – відповідно до міжнародних правил. Такий підхід забезпечує:

- отримання міжнародних зобов'язань;
- інтеграцію України до європейської системи стандартизації;
- сталий розвиток національної інфраструктури якості.

Стандарти – це не лише документи. Це – результат експертної роботи, який має свою цінність. Тому стандарти, які Україна приймає як національні та гармонізує з європейськими і міжнародними, ДП «УкрНДНЦ» розповсюджує на комерційній основі – відповідно до правил європейської системи стандартизації.

За матеріалами фейсбук-сторінки Національного органу стандартизації ДП «УкрНДНЦ»
<https://www.facebook.com/uas.org.ua>

КАЛЕНДАР КОНФЕРЕНЦІЙ ТА ВИСТАВОК З НК 2026–2028

12–15 жовтня 2026	Коламбус, США	ASNT 2026 – The Annual Conference (Щорічна конференція Американського товариства з НК)	American Society for NDT
02–22 листопада 2026	Online	International Online Conference on Nondestructive Testing 2026 (NDTonline 2026) (Міжнародна онлайн конференція з НК)	NDT.net
03–05 листопада 2026	Гонконг, Китай	1 st Asia Non-Destructive Testing Equipment & Technology Expo (1-а Азіатська виставка з обладнання і технологій НК)	China NDT Management Association
11–13 листопада 2026	Франтішкова Лазня, Чехія	NDE for Safety 2026 (НК для безпеки)	Чеське товариство з НК
17–18 листопада 2026	Хайдерабад, Індія	36 th Annual Conference & Exhibition on Non-Destructive Evaluation (NDE 2026) (36-а щорічна конференція та виставка з оцінки методами НК)	Indian Society for NDT
17–18 листопада 2026	Селангор, Малайзія	8 th Malaysia International NDT Conference and Exhibition (8 th MINDTCE) (8-а Малайзійська міжнародна конференція і виставка з НК)	Malaysian Society for NDT
18–19 листопада 2026	Ель-Крам, Туніс	8 th African Conference on NDT (8-а Африканська конференція з НК)	African Federation for NDT
08–09 березня 2027	Сінгапур	6 th Singapore International Non-Destructive Testing Conference and Exhibition (SINCE 2027) (6-а Сінгапурська міжнародна конференція і виставка з НК)	NDT Society of Singapore
11–14 травня 2027	Штутгарт, Німеччина	38 th Control 2027 (Міжнародна торгова ярмарка з проблем гарантії якості)	P E Schall GmbH & Co KG
15–18 червня 2027	Квебек, Канада	4 th International Conference & Exhibition on NDE 4.0 (4-а Міжнародна конференція з інтелектуального НК)	American Society for NDT
19–21 червня 2027	Вальядолід, Іспанія	16 th National Congress and the 3rd Iberian NDT Congress (15-й Національний та 23-й Іберійський конгрес з НК)	Spanish Association of NDT
30 серпня – 03 вересня 2027	Кобе, Японія	NDT Next 2027 (Міжнародна конференція з НК для нового покоління)	Asia Pacific Federation for NDT
15–19 травня 2028	Буенос-Айрес, Аргентина	21 st World Conference on Non-Destructive Testing 2028 (21-а Всесвітня конференція з НК)	Argentine Society for NDT

November 2026



Free • Online • On-demand

Organized by



International Online Conference on

Nondestructive Testing 2026