



Національна академія наук України
Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона
Українське товариство неруйнівного контролю
та технічної діагностики



НИК Спеціальний випуск **інформ**

До 105 річниці з дня народження



БОРИС ПАТОН

14.11.1918 - 19.08.2020

**ФУНДАТОР НАУКИ З ДЕФЕКТОСКОПІЇ
ТА МОНІТОРИНГУ КОНСТРУКЦІЙ**

Спогади про спільні досягнення

Троїцький В.О.

УДК 620.179:621.3

Т 70

Борис Патон фундатор науки з дефектоскопії та моніторингу конструкцій.
Троїцький В.О. - Київ, Інтерсервіс, 2023, 60 стор.

ISBN 978-966-999-348-9



Українське товариство
неруйнівного контролю
та технічної діагностики

Член Європейської Федерації
з неруйнівного контролю (EFNDT)

EF European Federation for
Non-Destructive Testing
NDT

Член Міжнародного комітету
з неруйнівного контролю (ICNDT)



The World Organisation for NDT

УТ НКТД засновано Установчою конференцією, що відбулася 16 листопада 1990 р. в Інституті електрозварювання ім. С.О. Патона НАН України і зареєстровано у Міністерстві юстиції України (Свідоцтво № 164 від 28.11.1991 р.). УТ НКТД представляє інтереси фахівців, що працюють в галузі неруйнівного контролю якості.

Борис Євгенович Патон – академік, президент Національної академії наук України, директор Інституту електрозварювання ім.С.О.Патона НАН України до 2020 р.

Цьому всесвітньо відомому українському вченому, його внеску в розвиток сучасних технологій зварювання і споріднених технологій, присвячено багато публікацій. Борис Євгенович був фундатором нового на той час наукового напрямку – технічна діагностика та неруйнівний контроль.

Розвитку цього напрямку науки, спогадам про спільну багаторічну роботу проф. В.О.Троїцького з Б.С.Патоном присвячена дана публікація.



На привалі, піший похід, Терскол, Кавказ (з кн. Біобібліографія, К., Наукова думка, 2008)

© УТ НКТД

Тел.: (044) 2052249, (044) 2052215, (050) 3343322, e-mail: usndt@ukr.net, www.usndt.com.ua
Головний редактор: проф. В.Троїцький; Редколегія: проф. О.Карпач, М.Казакевич, д.т.н. В.Учанін,
Ю.Постайко, А.Шекеро, В.Глуховський, В.Литвиненко; Технічний редактор: Л.Мартинова
При використуванні матеріалів посилання на „НК-Інформ” обов’язкове.

БОРИС ЄВГЕНОВИЧ ПАТОН – ФУНДАТОР НАУКИ З ДЕФЕКТΟΣКОПІЇ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ, МОНІТОРИНГУ КОНСТРУКЦІЙ

Борис Євгенович Патон залучав до своєї орбіти велику кількість першокласних фахівців та оточував себе справжніми професіоналами. Інститут електрозварювання ім.С.О.Патона НАН України має свій науковий потенціал завдяки колективу, на чолі якого була Вчена рада (рис. 1). Я бував багато разів з Борисом Євгеновичем у різних відрядженнях – у Харцизьку, Донецьку, Віксі, Копенгагені, Лондоні та інших містах. Він завжди підтримував перспективні починання, нові ідеї.

Борис Євгенович був другом, цікавим співрозмовником і, в той же час, жорстким прагматиком, був нетерплячим до невігластва. Саме завдяки його правильній оцінці проблем регулювання в силовій електротехніці я переїхав до Києва на його запрошення та під його керівництвом більше десяти років займався зварювальною електродинамікою, поки він не доручив мені зайнятися дефектоскопією.



Рис. 1. Члени Вченої ради ІЕЗ ім.С.О.Патона НАНУ, які багато зробили з вивчення походження та усунення причин утворення дефектів у зварних з'єднаннях.

*У першому ряду: Рабкін Д.М., Касаткін Б.А., Труфяков В.І., Походня І.К., Лебедєв В.К., Патон Б.Є., Севбо П.І., Дудко Д.А., Медовар Б.І.
(з книги «Мониторинг состояния конструкций», К., Інтерсервіс, 2022)*

Репортеру газети КМ України «Урядовий кур'єр» за 14.07.2020 р. Борис Євгенович сказав: «... в нашій родині з діда-прадіда панував культ праці. А коли втягуєшся, то не відразу помічаєш, що професія поглинає весь твій час... Академія була моєю єдиною родиною. Від цього, звичайно, страждало приватне життя... Я поставив за мету зробити зв'язки між наукою та виробництвом максимально тісними. Це й був головний імператив... за схемою «науковий інститут-КБ-дослідне виробництво». Цей принцип був фундаментом всієї його діяльності.

Ще декілька тез з інтерв'ю газети «Урядовий кур'єр» від 14.07.2020р.

«Я прожив довге, насичене і цікаве життя, мав змогу працювати з різними людьми, спостерігати за тим, як їхні характери проявляються в різних ситуаціях. Досвід підказує, що на булаву найбільше заслуговує той, хто спроможний по-волячому тягти майже непідйомну ношу, ні на що не скаржачись і не хизуючись. Тобто це має бути людина працювита та порядна». Саме так він представляв Анатолія Глібовича Загороднього.

З іншого боку: «У мене завжди викликали занепокоєння люди, які жадали влади, особливо за всяку ціну. Наприклад, ціною знеславлення організації, в якій вони бачать себе керівником, не маючи для цього достатньо компетенції та хисту. Як і з-поміж будь-яких інших людей, серед учених також трапляються такі, котрі з більшою приємністю дивляться на себе в науці, ніж на науку в собі».

«А загалом ці 58 років (президентства), як і вся історія академії, були часом і великих досягнень, і великих випробувань. Різнилися тільки виклики, які поставали перед державою!!!»

«Наприклад, наші науковці прогнозували негативні наслідки масштабної осушувальної і зрошувальної меліорації, інтенсивної хімізації сільського господарства й будівництва ЧАЕС. Тільки хто ж нас послухав?... Аварія на ЧАЕС була комплексним викликом і академія активно долучилася до ліквідації її наслідків, яка триває й досі».

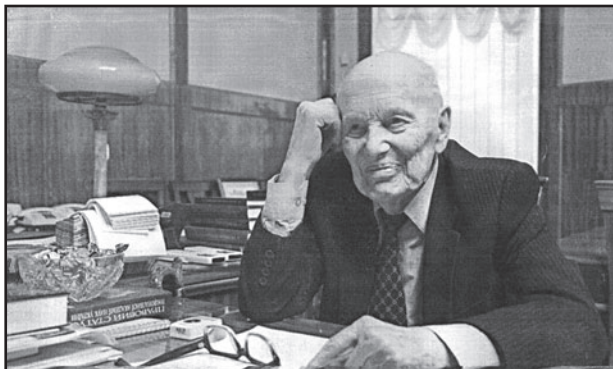


Фото 14.07.2020. Президент НАН України академік Борис Євгенович Патон розповів «Урядовому кур'єру» про своє бачення процесів, які нині відбуваються...

<https://ukurier.gov.ua/uk/articles/prezident-nan-ukrayini-akademik-boris-paton-rozpovip/>

Борисом Євгеновичем у періоді організації та становлення у країні нового наукового напрямку, який отримав назву «Технічна діагностика і неруйнівний контроль» (ТДНК), при підготовці постанов з цього питання Державним комітетом з науки і техніки, Кабінету Міністрів, Президії НАНУ, відомчих документів. Я виконував деякі особисті доручення Бориса Євгеновича, наприклад, щодо радіоактивного забруднення в Київській області, місць його перебування, водоймищ, де він тренувався на водних лижах.

Мені довелося багато працювати разом з Борисом Євгеновичем під час запуску на різних заводах систем НК, що складаються з ділянок магнітного, рентгентелевізійного, ультразвукового, електромагнітно-акустичного, вихрострумовевого та інших методів, організувати періодичні випуски тематичних збірників, які були перетворені у науковий журнал ТДНК.

Нижче наведені спогади про довгі роки тісного спілкування з Борисом Євгеновичем і доповнюють портрет цього великого вченого, який зіграв важливу роль у розвитку науки в колишньому СРСР і в Україні, який був і залишиться назавжди «головним дефектоскопістом» країни, непересічною особистістю.

У мене з Борисом Євгеновичем склалися дуже теплі людські відносини (рис. 2, 3). Нас ріднила саме та обставина, що він був за освітою, як і я, електромеханіком. Борис Євгенович часто відвідував наш відділ (рис. 4, 5), йому подобалися електротехнічні ідеї, деякі з яких знайшли серйозне промислове застосування (рис. 6-12), а деякі з них не пішли у виробництво.

Для майбутніх електротехніків залишилося багато нереалізованих ідей. Вважаю важливим згадати про такі науково-фантастичні ідеї Б.Є.Патона, як електростанції прибою (сила прибою, припливу і відпливу), створення механічних акумуляторів для рухомого складу, в яких накопичується енергія під час гальмування і наступна її рекуперація. Тоді ще не було Ілона Маска з його електромобілями, а ми вже обговорювали проблеми накопичення та рекуперації енергії. Індивідуальний електротранспорт

з рекуперацією досі намагаються стримувати нафтові магнати! Але час вносить свої корективи. Зелена енергетика розвивається. Тепер накопичення й рекуперація енергії знаходяться в реальному житті. Тобто ідеї електронакопичення і рекуперації розвиваються. Щодо накопичення та рекуперації в механічних акумуляторах у нас є наукові статті в авторитетному журналі «Електричство». Я користуюсь вже багато років повнопривідним електротранспортом з рекуперацією. Не менш цікаві ідеї на залізниці, трубна електропошта, плоскі електричні машини (тобто не циліндр в циліндрі, як зараз, а диск відносно диску) та інші.

Ми обговорювали та готували тексти постанов для КМ щодо холодних джерел світла. Магнітна комунікація, плоскі електродвигуни, багато наших ідей, в тому числі джерела зварювального струму, що регулюються зварним кабелем та ін. знайшли широке застосування. Однак згодом нову електродинаміку він приніс у жертву прагматичній дефектоскопії. Дуже важливим завданням був пуск трубопрокатного цеху на Харцизькому трубному заводі (ХТЗ). Затримка його пуску негативно впливала на авторитет України. Це мала бути відповідь канцлеру Конраду Аденауеру. Так в Уряді



Рис. 2. В кабінеті Бориса Євгеновича вітання з 80-річчям



Рис. 3. Кривцун І.В., Троїцький В.О., Патон Б.Є., Лобанов Л.М., Клочков І.М.

назвали запуск ХТЗ, який мав бути здатним виробляти труби для магістральних газопроводів високого тиску. Запуск затримувався через дефектоскопію, необхідні були радикальні заходи. Німеччина припинила постачати газові труби. Електродинаміку, близьку по духу Борису Євгеновичу, довелося призупинити і почати роботи з дефектоскопії. Про те, наскільки це важливе та непросте завдання, йдеться в книзі «Сварочная електротехника и дефектоскопия. Воспоминания», К., 2020. Понад п'ять років найкращі спеціалісти Інституту електрозварювання на чолі з Б.Є.Патоном займалися пуском другого цеху Харцизького трубного заводу. У жертву цій справі було принесено наш електротехнічний напрямок з всесвітньо визнаними досягненнями (розроблені нами зварювальні джерела досі успішно експлуатуються). Борис Євгенович домогся запуску другого цеху на ХТЗ. Наші успіхи з неруйнівного контролю якості зварних з'єднань при виробництві труб високого тиску для магістральних газопроводів надихнули Бориса Євгеновича виправити стан справ з дефектоскопією не тільки в м. Харцизьк, а і в усьому СРСР. На жаль, велика кількість заводів Міністерства приладобудування України були орієнтовані на інші замовлення («Квант», «Арсенал», «Радіозавод» та ін.), а не на виробництво дефектоскопічних приладів.

Мало кому відомо, що до 70-го року минулого століття поняття «дефектоскопія» в Академії наук СРСР, в Міністерстві освіти та інших установах СРСР відносилось до астрономії, а основний фахівець з цієї професії – проф. Міхеєв М.М. був член-кореспондентом відділення астрономії в АН СРСР. Наукова логіка полягала в тому, що основні фізичні методи та прилади дефектоскопії були подібні до астрономічних. Ми тоді були астрономами!

Наші дефектоскопісти, у тому числі і я, відправлялися в закордонні відрядження (Німеччину, США, Англію, Югославію та ін.) саме від відділення астрономії АН СРСР

і звітували ми перед астрономами. Разом з тим, дефектоскопія (NDT) вже тоді сформувалася як серйозний промислово важливий науковий напрям, що, як і астрономія, вивчає та використовує різні фізичні явища (світлові, магнітні, радіаційні тощо), але тільки в промислових умовах зі своєю особливою специфікою, яка ближче до медицини, ніж до астрономії. Прилади НК були невід'ємною частиною практично всіх відповідальних технічних процесів. Дефектоскопічних приладів не вистачало. Борис Євгенович виправив цей недолік, на що пішло багато років.



*Рис. 4. На передньому плані:
Касаткін Б.О., Білий М.Г., Патон Б.Є.,
Єськов Ю.Б., Бондаренко Ю.К.*



*Рис. 5. Троїцький В.О.,
Патон Б.Є., Кузьмін В.В.,
Лобанов Л.М., Шевченко І.Я.*

В Україні було багато машинобудівних і металургійних заводів, а також навчальних кафедр, діяльність яких так чи інакше була пов'язана з оцінкою якості, з дефектоскопією, з неруйнівним контролем якості матеріалів і виробів. Організації Міністерства приладобудування, які розробляли дефектоскопічне обладнання знаходилися у Кишиневі, Мінську, Москві, Свердловську, Ленінграді, Нальчику. На жаль, цей науковий напрямок розвивався в Україні погано. Це треба було виправляти. Всі авіаційні, трубні та інші заводи не могли працювати без дефектоскопічних приладів.

У Мінприладі колишнього СРСР дефектоскопія була третьорядною справою. Обладнання для дефектоскопії відносилось до категорії товарів широкого вжитку, на його виготовлення використовувалися елементи, відсортовані при виробництві військової техніки. Тому вітчизняне дефектоскопічне обладнання було більш низької



якості, ніж закордонне, де при виготовленні дефектоскопічних приладів використовувалися найкращі комплектуючі. В СРСР практично не було ринкової конкуренції. Більш того, впровадження дефектоскопії зменшувало об'єми продукції, яка випускалася, що було не вигідно користувачам. І це треба було подолати.

Ці та інші проблеми дефектоскопічного напрямку, непритаманні проблемам зварювання, взявся виправляти Борис Євгенович. Для цього необхідно було підготувати відповідні Постанови Кабінету Міністрів, ДКНТ СРСР і України, а також провести колосальну роботу задля реалізації

цих Постанов (№№ 142 і 457), створити Програму з розвитку дефектоскопічного напрямку, запропонувати гідну привабливу назву для цієї професії, тощо. Ні Міхєєв М.М., ні будь-хто інший так гостро не відчували важливість дефектоскопії для розвитку сучасної промисловості, як це розумів Борис Євгенович Патон. Зварювальне, металургійне, машинобудівне та ін. виробництва неможливі без дефектоскопії, без автоматизації процесів контролю якості.

Тому, наприкінці минулого століття Б.Є.Патон приділяв багато особистого часу вирішенню проблем дефектоскопії доти, поки цей науковий напрямок не отримав гідного розвитку. Дефектоскопія стала серйозною наукою, від якої у значній мірі залежить надійність аерокосмічної, атомної та іншої техніки. Свідченням тому є отримані численні патенти та статті по дефектоскопії. Саме Б.Є.Патон придумав назву цієї дисципліни «ТДНК», котра поширилася не тільки в Україні, а й у Болгарії, Молдові та країнах колишнього СРСР.

Паралельно з епопеєю впровадження системи дефектоскопії на Харцизькому трубному заводі ми виконували організаційні роботи з розвитку, підняття рівня дефектоскопії всієї промисловості СРСР та України. Треба було вирішувати глобальні організаційні питання цього важливого наукового напрямку через відповідні директиви, постанови Кабміну УРСР. Загальна чисельність дефектоскопістів в ІЕЗ (науковий, конструкторський відділи) сягнула 120 співробітників. Майже кожний день в кабінеті у Бориса Євгеновича проходили наради з дефектоскопії.

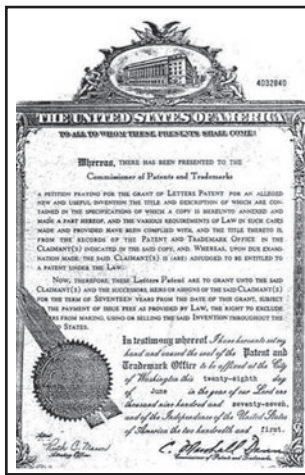


Рис. 6. Титульна сторінка патенту США з магнітної комутації

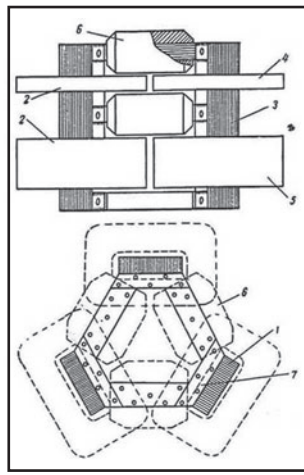


Рис. 7. Трансформатор великої потужності, який плавно регулюється по а.с. № 214700

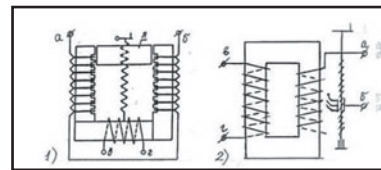


Рис. 8. Конструктивні схеми, які пояснюють принципи магнітної (1) та електричної (2) комутації

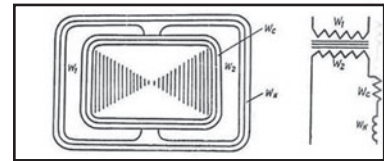


Рис. 9. Схема трансформатора ТСМ-250, регульованого зварювальним кабелем за а.с. № 218356

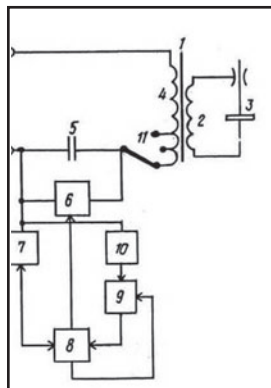


Рис. 10. Принципова схема резонансного джерела струму

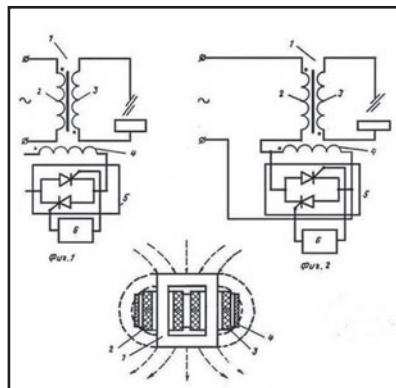


Рис. 11. Принципові схеми модульованого зварювального струму за а.с. 639671

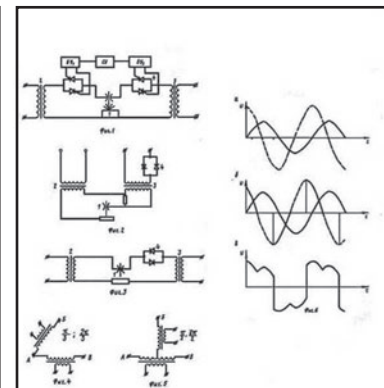


Рис. 12. Схеми джерел зварювального струму за а.с. № 417994 з прямокутною формою напруги x.x.

Міністерство приладобудування СРСР, яке відповідало за виробництво приладів з дефектоскопії, повинно було розуміти важливість об'єктивної оцінки якості у численних галузях промисловості. Усі галузі повинні бути добре оснащені, мати достатньо виробничих площ, якісну наукову базу з НК. Мало хто розумів важливість дефектоскопічної науки. Тому Б.Є.Патону доводилося особисто займатися розвитком заводів, які виробляють дефектоскопічне обладнання, вирішувати питання будівництва у республіках колишнього СРСР дефектоскопічних підрозділів та нових виробничих площ, які стосуються НК.

Необхідно було припинити практику використання для дефектоскопічних приладів другосортної елементної бази, розширити їх виробництво. Задачу вирішення всіх цих проблем в Державному комітеті СРСР по науці та техніці (ДКНТ) Борис Євгенович поклав на наш, на той час вже сформований науковий відділ дефектоскопії. Тому нашому колективу (відділу №4 ІЕЗ), разом з відповідними НДІ різних відомств країни, довелося готувати спочатку постанови ДКНТ і КМ СРСР, а потім домагатися їх виконання. Всі ці документи читав, правив та контролював виконання Борис Євгенович.

Ця робота велася не один рік, вона супроводжувалася численними нарадами, узгодженнями в Москві, Києві, Кишиневі, Ленінграді, Свердловську, Томську та інших містах, найчастіше, за участі Бориса Євгеновича. Завдяки цій діяльності багато кафедр технічних вузів України, Болгарії, Молдавії, Росії, та інших країн колишнього СРСР готують спеціалістів з методів НК. Серйозний розвиток отримали інститути: НДІ інтроскопії, НДІХІММАШ, ЦНПТМАШ, ВНПБТ (м. Київ) і ВНПНК (м. Кишинів), НДІ «Прометей», НДІ Мостів (м. Санкт-Петербург). З'явилися нові наукові журнали: «Территория NDT», «ТДНК», «Дефектоскопия», «Диагностика и контроль», «НК-інформ».

Робота над цими документами об'єднала нас із колективами провідних інститутів Мінприладу, кафедрами і галузевими НДІ такими, як: «Прометей», ЦНИИТМАШ, ВНИИ НК, НИИХИММАШ, ВНИИБТ та ін. Всі ці НДІ гостро потребували найвищих директив. Тільки в результаті клопіткої роботи з написання та узгодження численних питань вийшли Постанова ДКНТ № 142 та Розпорядження КМ № 457 про розвиток фізичних методів контролю якості в СРСР та УРСР, які дали фундамент для розвитку цієї науки.

В ті часи спочатку Хімченко Н.В., а потім я, були головами комісії ДКНТ СРСР з проблем неруйнівного контролю. Ми готували для уряду відповідні постанови, які пізніше перетворювалися за допомогою Бориса Євгеновича в документи Кабміну та НАН України. Так, у 1984 р. в НАН України було розроблено Програму по ТДНК, яку виконували 26 НДІ різної відомчої приналежності. Ми почали періодично випускати збірник праць з ТДНК, на основі якого пізніше організували випуск журналу «Технічна діагностика і неруйнівний контроль» та журналу «Территория NDT» за участі 11 країн. Як результат плідного спілкування з дефектоскопічним світом в нашому відділі, за ініціативи Бориса Євгеновича, з'явилися нові важливі наукові напрямки, такі, як електрорентгенографія, розробка мало-срібних детекторів, електромагнітоакустичний УЗК, магнітографічна дефектоскопія та ін. На додаток до наявної, ми побудували другу потужну унікальну рентгенівську лабораторію на 18 МеВ біологічного захисту. Такої радіаційної лабораторії з товщиною бетонних стін 1,5 м досі не має жодне підприємство у країнах колишнього СРСР.

Світовий ринок завжди був перевантажений якісною дефектоскопічною технікою. З розвитком комунікацій, інтернет-можливостей і нових обставин збільшилась роль імпорتنих поставок. В країні почався бізнес: «купує за кордоном, зацікавив особисто Замовника». Перепродаж, спекуляція істотно затримують розвиток виробництва вітчизняної техніки, приладобудування. І досі доводиться боротися за клієнтів. Це закони ринка.

Хочу підкреслити, що Борис Євгенович надавав великого значення розвитку вітчизняного виробництва будь-якого обладнання, у тому числі й для дефектоскопії. Нами була створена велика кількість оригінального обладнання для різних галузей промисловості.

Флагманами використання неруйнівного контролю завжди були металургійні та машинобудівні підприємства, заводи з виробництва металоконструкцій. Якби не проблема дефектів саме зварного шва, поцяткованого порами, шлаковими включеннями, кратерами, дефектоскопія, як наука, розвивалася б інакше. В деяких галузях майже немає зварювання, наприклад, в авіації, космічній галузі, в будівництві укриття зруйнованого Четвертого блока ЧАЕС та ін.

Небезпека появи зварних з'єднань низької якості, додаткова навантаженість металу, наявність специфічних зон термічного впливу, деградація структури металу диктували розвиток науки і техніки дефектоскопії. Дотепер найвідповідальніші конструкції виготовляють без зварювання. Тому не випадково, розуміючи важливість стеження за властивостями металу після зварювання, наш інститут, під керівництвом Б.Є. Патона, став провідною організацією з розвитку дефектоскопії – важливого наукомісткого напрямку для всіх галузей промисловості. Наводжу список наших вчених: Трущенко А.А., Боровиков О.С., Адаменко О.А., Радько В.П., Загребельний В.І., Бондаренко О.Г., Карманов М.М., Михайлов С.Р., Горбик В.М., Шевченко І.Я., Посипайко Ю.М., Глуховський В.Ю., Нагайцев В.О. та ін., а також моїх аспірантів: Демидко В.Г., Валеви́ч М.І., Савін В.М., Білий М.Г., Калинников С.А., Жуковський П.Г., Бондаренко Ю.К., Донін О.Р., Давидов Є.О., Шигаєв Т.Г., Бродніков В.М., які залучалися Борисом Євгеновичем до вирішення глобальних проблем дефектоскопії, створення програм, постанов, статей і журналів на цю тему.

Наша діяльність з дефектоскопії була затребувана в Україні та за її межами.

Провідні світові фірми-виробники дефектоскопічного обладнання прагнули працювати з нами, незважаючи на те, що ми ніколи нічого у них не купували. Проте, ІЕЗ ім. Є.О.Патона був єдиною організацією в Україні, яка володіла знаменитими приладами ZIP-scan (Англія), P-scan (Данія), приладами фірм Forster, Krautkramer, Tide (Німеччина). У нас досі є багато зарубіжних зразків дефектоскопічних приладів.

ІЕЗ ім.Є.О.Патона НАНУ має ділові контакти з провідними світовими виробниками дефектоскопічного обладнання, з провідними компаніями Англії, Німеччини, Канади, Данії, Росії. У Данії, Англії і Росії, з нами бував Б.Є. Патон.

Борис Євгенович Патон розвинув дефектоскопію як науку. В 1984 році була створена Наукова рада з назвою «Технічна діагностика та неруйнівний контроль» при Президії НАНУ. Ця Наукова рада, ядром якої був відділ № 4 ІЕЗ ім. Є.О.Патона, підготувала Програму, що дало поштовх на консолідацію та розвиток дефектоскопії в УРСР. З'явилася спеціальна звітність, почали готувати збірники праць з НК, які стали провідниками журналів по НК в Україні.

На основі цієї Програми в січневому за 1987 рік номері «Вісника Академії наук Української РСР» була опублікована фундаментальна стаття акад. Б. Є. Патона під назвою «Неруйнівний контроль і надійність технічних об'єктів». У назві цієї Програми та статті ще не було слів «технічна діагностика», які в муках та дебатах народжувалися і з'явилися пізніше. В цих двох словах була особлива ідея Б. Є. Патона, який розумів, що сама дефектоскопія – далеко не все, що необхідно для металоконструкцій. У назві професії має бути щось, заради чого виконується дефектоскопія, наприклад «моніторинг» або «діагностика». Він віддав перевагу другому слову, на жаль, з непотрібним прикметником.

Протягом 1992-93 рр. була сформована нова Програма, яка вже мала назву «Технічна діагностика і неруйнівний контроль». Ця Програма включала вже 263 проєкта і 160 організацій-виконавців. Програма була затверджена ДКНТ і НАН України. Вона дала можливість активізувати діяльність з проблеми дефектоскопії в Україні.

Так, в переліку головних напрямків розвитку науки і техніки України з'явилася тема «Діагностичне забезпечення надійної і ефективної експлуатації енерго- і ресурсоемних машин», і починаючи з 1995 р., вже з'явилася тема «Неруйнівний контроль та технічна діагностика», що відповідала назві Науково-технічного товариства УТ НКТД.

У 1992-93 роках за ініціативи Б.Є. Патона виконані організаційні роботи зі створення Комітету зі стандартизації «Технічна діагностика та неруйнівний контроль» – ТК-78. Цей комітет був створений спільним наказом Національної Академії наук, Державним комітетом по стандартизації, метрології та сертифікації і Державним комітетом з нагляду за охороною праці (№ 60/106/48 від 31 травня 1993 г.). Відтоді комітет ТК-78 успішно займається розробкою і гармонізацією національної науково-технічної документації в області технічної діагностики і неруйнівного контролю та питаннями її відповідності міжнародним стандартам, які розробляються Технічним комітетом Міжнародної організації із стандартизації ISO/TC 135.

Завдяки підтримці Бориса Євгеновича в 1990 році було створене Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики (УТ НКТД), яке проводить національні конференції, семінари, поїздки на заходи міжнародних організацій EFNDT, ICNDT та ANDTI.

Особливо важливе значення для України має організація системи сертифікації персоналу, зайнятого в неруйнівному контролі, за процедурами, гармонізованими з європейськими та міжнародними стандартами. Протягом 1996-97 рр. ми провели підготовчу роботу по прийняттю стандартів EN-473 «Кваліфікація та сертифікація персоналу в галузі НК. Основні принципи» і EN-45013 «Органи по сертифікації персоналу. Загальні вимоги». Рішенням Держстандарту України ці стандарти були введено в дію в Україні з 1 січня 2000 р. За ініціативою Бориса Євгеновича у 1994 році спільним наказом № 172/64/106/221 від 7 липня 1994 р Міністерства освіти України, Національної академії наук України, Комітету України по нагляду за охороною праці та Державного комітету України по нагляду в атомній промисловості в структурі УТ НКТД був створений Національний атестаційний комітет (НАК) України з неруйнівного контролю. Головним завданням НАК є організація систе-

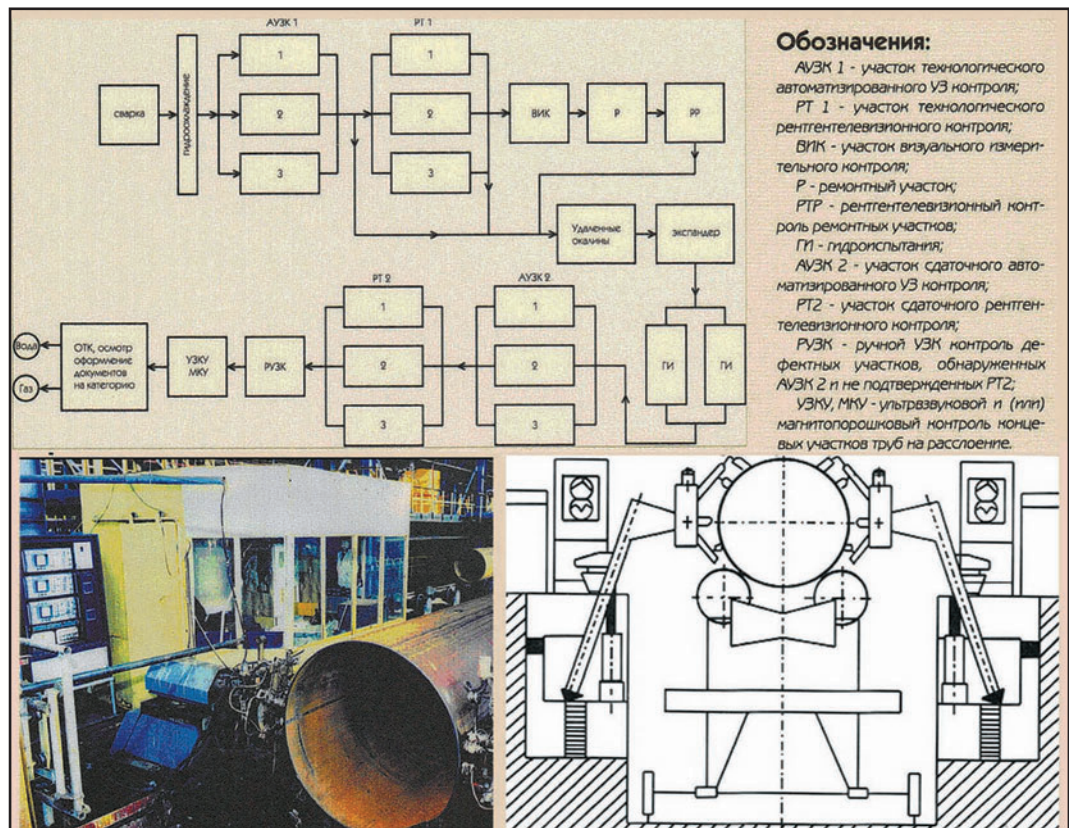


Рис. 13. Система комплексного неруйнівного контролю труб великого діаметра для магістральних газопроводів високого тиску в потоці виробництва

ми сертифікації персоналу, яка відповідала би міжнародним стандартам. Тоді ще не було Національного агентства з акредитації (НААУ) і атестацію персоналу з дефектоскопії Борис Євгенович доручив відділу № 4 ІЕЗ ім.Є.О.Пагона НАНУ. З усіх видів НК були написані навчальні посібники, були розроблені перші галузеві нормативні документи по сертифікації персоналу в нафтогазовій промисловості, авіації та інших галузях промисловості.

Ми проводили численні наради з основними учасниками комісії Державного комітету з науки і техніки (ДКНТ), з відповідальними виконавцями підготовлених нами Постанов КМ і ДКНТ №№ 142 і 457. У Бориса Євгеновича були дружні відносини з Александровим, Корольовим та ін. впливовими особами.

Це підкреслює фундаментальну роль та рівень авторитету Бориса Євгеновича, його зв'язки у формуванні та розвитку нового важливого для промисловості наукового напрямку.

Одним із значних досягнень ІЕЗ є розробка і впровадження технологій виготовлення труб для магістральних газопроводів, якими ми займалися не тільки в Харцизьку, але і у Челябінську, Новомосковську, Віксі та інших містах, в Болгарії, Туреччині, на участь в яких Борис Євгенович витратив багато особистого часу. Влада у 80-ті роки поставила Борису Євгеновичу важливе завдання: в стислі терміни організувати в Україні виробництво газопровідних труб тиском 100 атм, що відповідали світовим стандартам. На рис. 13 показана така схема комплексної діагностики труб для магістральних газопроводів високого тиску в процесі їх виготовлення.

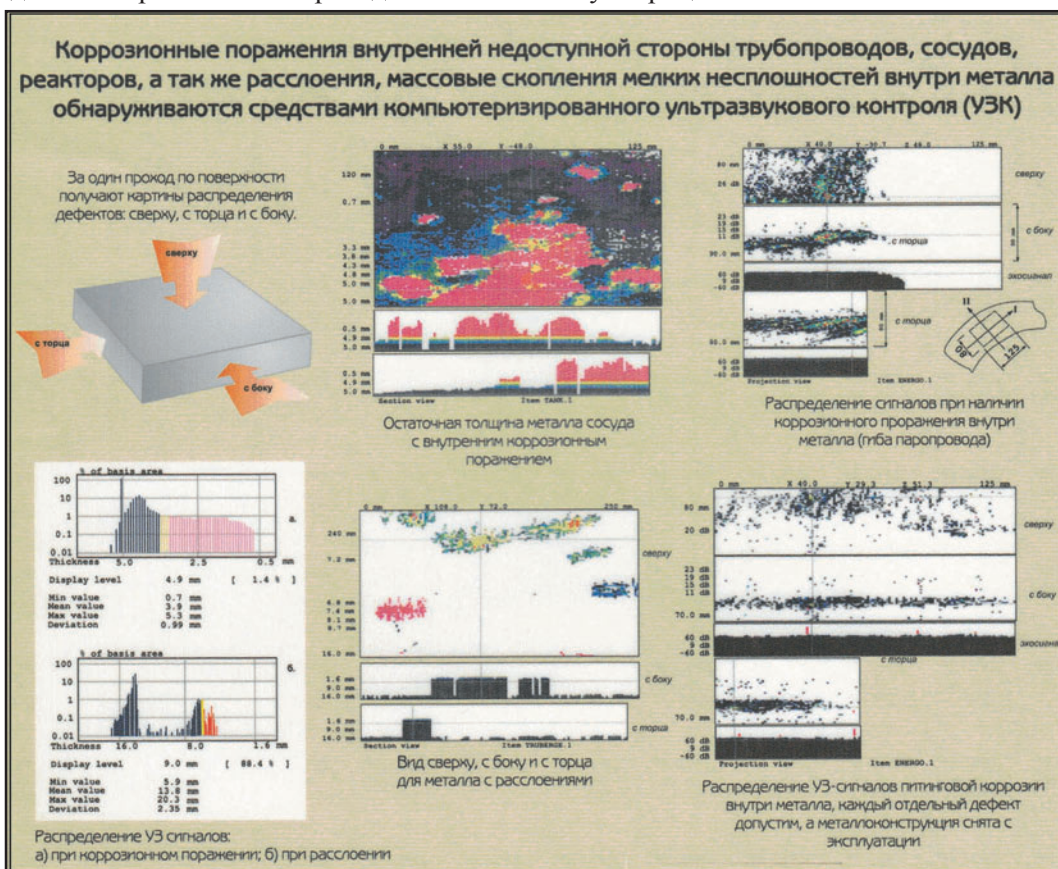


Рис. 14. Массовое поражение металла дрібними дефектами внутрішньої (недоступної) частини конструкції

Коли Борис Євгенович відвідував РТК-бокси ХТЗ, дуже переймався, спостерігаючи різноманіття дефектів зварних швів та металопрокату (рис. 14). Понад шість років Борис Євгенович і його команда впроваджували і вдосконалювали технологію (рис. 13, 14) виробництва труб великого діаметра (1220, 1420 мм). Це будівництво перебувало на суворому

му контролю Уряду України. Проходили численні наради в Кабінеті Міністрів, в Інституті і на заводі, які дали свій результат. Розроблені в НАН України технології розкרוю заготовок металу, формування заготовок труб, режимів багатодугового зварювання та неруйнівного контролю почали використовуватися на заводах Туреччини, Росії, Болгарії. Ці труби почали експортувати.

До запуску цього виробництва Борис Євгенович зміг залучити фахівців багатьох інститутів НАН України, проектних, монтажних і т.п. організацій. Він приймав сміливі рішення. Опишу тільки два дуже цінних рішення, які забезпечили виконання цього державного замовлення, застосування дефектоскопії.

Після довгих поневірянь завод ХТЗ навчився виробляти труби, які могли б сертифікуватися як газопровідні на високий тиск (100 атм). Однак у керівництва ХТЗ не було стимулу випускати їх разом з дефектоскопією. Велика кількість хороших труб йшли як водопровідні. Вони не мали сертифікатів газопровідних труб. Дефектоскопія обмежувала об'єми газових труб. Керівництво ХТЗ планувало виробляти такі труби другого сорту без додаткових витрат на НК, без суворого випробування їх тиском, ультразвуком, рентгеном та іншими фізичними методами. Без сертифікації вони не визнавалися як труби для магістральних газопроводів. Для газу їх не можна було застосовувати, а ціна всіх труб була однаковою. Тому всі наші автоматичні установки по дефектоскопії, в основному, знаходилися на «профілактиці» і включалися в роботу тільки тоді, коли на ХТЗ прибувала якась комісія. Добре, що цих комісій було досить багато. Тому наші установки хоч зрідка, але застосовувались. На період перебування комісій, наші ділянки (АУЗК, РТК, ВІК і ін.) включалися в роботу. Після дефектоскопії потрібно проводити серйозне доопрацювання, ремонт труб, що приводило до відповідних додаткових витрат коштів і часу, тому, керівництво ХТЗ уникало використання наших установок.

З від'їздом гостей технологічний цикл спрощувався, а наші образи, що дефектоскопічні підрозділи майже не використовуються, ігнорувалися, так як всі труби будь-якої якості, з будь-яким сертифікатом якості, коштували однаково.

І тільки після того, як Борис Євгенович зміг домогтися в Держплані та інших органах влади підвищення ціни на 15% для труб з дефектоскопічною, тобто газовою сертифікацією з повним циклом фізичних досліджень, всі наші ділянки почали регулярно працювати. Кількість вироблених труб дещо зменшилася, але істотно піднялася їх якість, культура виробництва, а завод матеріально не постраждав. Незабаром ХТЗ став флагманом виробництва труб для газових магістралей високого тиску. Україна припинила закупати газові труби в Німеччині.

Виявлення дефектів – це однозначно і мета, і задоволення для дефектоскопістів, а для заводу – втрата продуктивності. Це загальна проблема нашої професії. Без застосування методів НК не може бути високої технічної культури. Тому при спаді діяльності промисловості першими під скорочення потрапляють дефектоскопісти, а на початку роботи промисловості беруть дефектоскопістів останніми, коли вже без моніторингу швів, стану металу обійтися неможливо. Завдяки Б.Є.Патону на початок 21 століття в Україні дефектоскопічний напрямок був не гіршим, ніж в розвинених країнах. У Київ приїжджали фахівці з Данії, Китаю, США, Англії, Німеччини, Туреччини та інших країн. Дефектоскопісти з України їздили великими делегаціями на запрошення фірм, що працюють у царині цієї науки, брали активну участь в європейських та всесвітніх організаціях (EFNDT, ICNDT та ANDTI).

Одним з епохальних, але нереалізованих рішень Бориса Євгеновича була спроба введення в цикл виготовлення та ремонту труб для магістральних газопроводів випробування методом акустичної емісії (АЕ). Методом АЕ в ІЕЗ довгий час займався академік НАНУ Касаткін Б.А. (рис. 4). Були часи, коли методу АЕ в Японії, США, Німеччині надавали великого значення. Матеріали по АЕ надходили до нас з грифом секретності. Проводились закриті конференції по АЕ. Велика робота з акустичної емісії була організована по лінії РЕВ. Борис Євгенович намагався розвивати цей напрямок. За створення в ІЕЗ та впрова-

дження технологій по АЕ співробітники відділу № 4 мають 5 медалей ВДНГ УРСР. Мене, Доніна О.Р. багаторазово відряджали до Німеччини, Угорщини з питань АЕ.

Після того, як на складах готової продукції ХТЗ десятки труб, які були готові до відправки замовнику, стали порушувати тишу донецького степу пронизливими звуками холодних тріщин, що розривають метал, коли він остигає, Борис Євгенович почав стимулювати розвиток методу АЕ. Після відповідних змін до технології виготовлення труб ці «симфонії» припинилися, але від появи холодних тріщин, як і від помилок в технології у виготовленні труб ніхто не застрахований. Під керівництвом Бориса Євгеновича ми провели великі науково-дослідні роботи, в результаті яких було встановлено, що з впровадженням АЕ на остигаючих трубах можна підняти якість труб, зменшити обсяг УЗК і РТК, традиційних засобів діагностики.

Разом з Борисом Євгеновичем Патоном ми отримали відповідні патенти. З'явилася можливість істотно підняти якість, спростити виробництво труб, докорінно змінити технологію контролю труб магістральних газопроводів у процесі їх виготовлення та ремонту. Однак цього не сталося. Проте цей резерв якості зберігається.

Не менш драматичні історії нам з Борисом Євгеновичем довелося пережити під час організації технології виробництва неруйнівного контролю багатшарових труб. Довгі роки ці роботи велися в ІЕЗ, потім на заводах ХТЗ і ВМЗ. Повний цикл виробництва таких труб був організований на Віксунському металургійному заводі (Новгородська обл.).

В природі всі тіла, що несуть великі механічні навантаження (стовбури дерев, панцири черепах, трубчасті судини, кістки тварин, броня танків та стовли гармат) є багатшаровими. Однак для моніторингу стану багатшарових конструкцій традиційні методи, що застосовуються для монолітної структури, не підходять. Багатшаровість нездоланна для акустичних та електромагнітних випромінювачів, а також для ультразвукових (УЗК) і електромагнітних методів дефектоскопії. Крім того, несподівано в процесі відпрацювання технології виробництва багатшарових труб склалася трагікомічна ситуація з контролем герметичності. З одного боку між шарами не має бути вологи через можливу корозію, з іншого боку потрібні перфораційні міжшарові отвори для травлення газу, який може збільшити міжшаровий тиск до тиску магістралі, тобто в 5-6 разів вище,

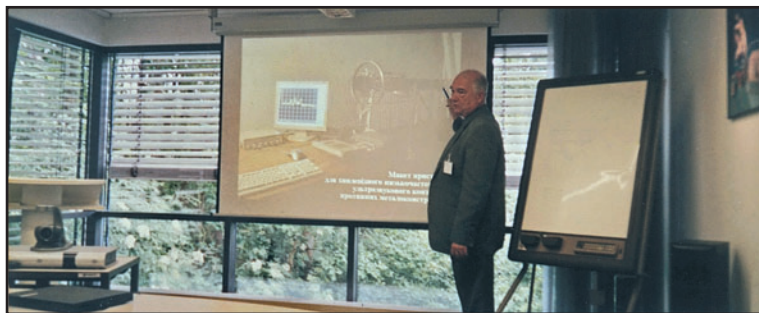


Рис. 15. Доповідь в Фраунгофрському Інституті НК у м. Саарбрюкен про проблеми NDT багатшарових труб

ніж тиск, який здатний витримати один шар труби. Ці та подібні технічні проблеми багатшаровості викликали протидію деяких авторитетних діячів. Однак вони не змогли зупинити Бориса Євгеновича у його бажанні вирішення цих цікавих технічних задач. Зрештою, були зняті всі технологічні та конструктивні проблеми, і цех з виробництва таких труб запрацював на ВМЗ. Для вирішення проблеми Борис Євгенович залучив інститути НАН України та інші організації. Була розроблена технологія контролю якості труб при їх виробництві та виготовлено відповідне обладнання. Борис Євгенович шукав та знаходив рішення.

Для багатшарових труб не можна було застосовувати традиційний УЗК через неприпустимість використання води, як контактної середовища, що застосовується на монолітних структурах. Однак УЗК без контактної рідини можливо отримати у випадках електромагнітно-акустичного (ЕМА) метода. На жаль, на той час ЕМА-метод застосовували тільки у Німеччині, в м. Саарбрюкен, в інституті Фраунгофера, куди Борис Євгенович відрядив мене (рис. 15) для встановлення контактів та отримання інформації

по ЕМА-методу. ЕМА-техніку розвивав проф. Kroning M., який вже успішно розмістив дослідну лабораторію в м. Мінськ. Проф. Kroning M. був прийнятий Б.Є.Патоном (рис. 16). Ми поїхали до Німеччини з Г.Г.Луценком, який також хотів налагодити спільні справи по ЕМА УЗК. Б.Є.Патоном була вирішена проблема УЗК без води, яка застосовувалася в США, Росії та інших країнах для акустичного контакту з дослідною трубою.

Ми навчилися не тільки виготовляти, а також якісно перевіряти багат шарові конструкції. Такі труби довжиною 1,5 -2,5 м, які вварюють у газову магістраль, здатні запобігти розкриттю газопроводу через виникнення поздовжніх тріщин, протяжність яких може сягати кількох кілометрів, що призводить до катастроф. У зоні подібних аварій утворюється «місячний пейзаж», абсолютно все згорає, плавиться не тільки метал, а й камені. Навколишньому середовищу, природі завдається величезна шкода. Запропоновані Б.Є. Патоном короткі багат шарові труби (пастки для поздовжніх тріщин) зменшують шкоду від подібних аварій. Поздовжні тріщини закріплюються у цих пастках. Замість багатокілометрових аварій, «місячного рельєфу» складає тільки декілька метрів.



Рис. 16. Kroning M. після обговорення ЕМА-рішень для багат шарових труб

керівники організували нам цікаві екскурсії. Одним з таких маршрутів було відвідування житлового кварталу, де на четвертому поверсі «хрущовки» мешкав академік А.Д. Сахаров. Це на той час було небезпечно, але цікаво.

Розроблена під керівництвом Б.Є.Патона унікальна технологія моніторингу багат шарових конструкцій є тільки в ІЕЗ ім.Є.О.Патона. Тільки ми можемо надійно перевіряти й гарантувати якість багат шарових конструкцій. Найкраща броня, найнадійніші стовбури гармат та мінометів повинні виготовлятися багат шаровими. Основний європейський журнал по дефектоскопії «Insight», який видається в Англії опублікував наш досвід діагностики багат шарових конструкцій (рис.

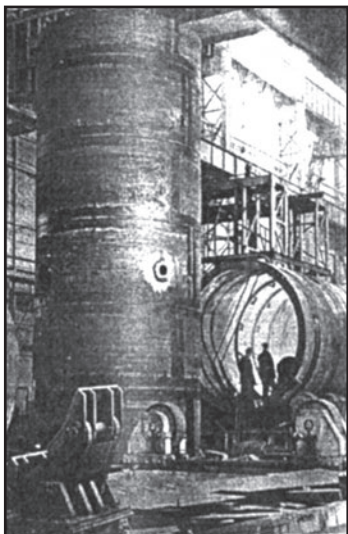


Рис. 17. Виготовлення багат шарових посудин



Рис. 18. Українська делегація в Атомному навчально-випробувальному центрі Англії у м. Ріслі (червень, 1989 р.)

19), як велике досягнення в області НК. Багаторічні дослідження з оцінки якості багат шарових конструкцій просунули методи контролю герметичності, ЕМА та інші види дефектоскопії. При помірній товщині металу в США, Англії багат шаровими виготовляють стовбури мінометів, гармат, броню танків тощо. Багат шарові конструкції інакше руйнуються: вони не дають уламків, не вражають воїнів, які з ними працюють. Після публікації цієї статті про моніторинг багат шарових структур мене запросили працювати в ж. «Insight» та зробити тур по містам Англії для великої делегації вчених України. На рис. 18 показано фото української делегації в м. Рісллі в Атомному випробувальному центрі.

Однією з важливих заслуг зацікавленості у багат шарових конструкціях були роботи ІЕЗ з методу тангенціального просвічування (ТП), які закінчилися випуском галузевого стандарту по замовленню НАЕК для атомних станцій України.

Технологія тангенціального просвічування була розроблена для багат шарових труб, тобто по відношенню до поверхні тіл обертання. Вона дозволяє без зняття покриття визначити граничні утонення стінки, наявність в об'єкті засмічення, сторонніх нашарувань, розшарувань металу та ін. Режим тангенціального просвічування розраховується з урахуванням складної геометрії тіла обертання у напрямку по відношенню до поверхні (рис. 23). Загальна товщина багат шарової конструкції дорівнює $Q = n\Delta + (n-1)\delta$, де n - число шарів розміром Δ , розділений зазорами δ . Наприклад, при $n = 4$, $\Delta = 3$ мм, $\delta = 2$ мм отримаємо $Q = 12$ мм. В тангенціальному просвічуванні ефективна товщина просвічуваного металу у 5-10 разів більша.

На рис. 20 – 21 показано вимірювання у напрямку просвічування товщини Z кожного з шарів n у загальній товщині Z металу.

Максимальна товщина шару: $Z_{\max} = 2\sqrt{(D - \Delta)\Delta}$.

NDT IN UKRAINE

Non-destructive testing of multilayer welded structures

V A Trotskiy

Multilayer structures have a higher load-carrying capacity, but they are more difficult to fabricate than similar items of monolithic metal and require more thorough flaw detection. Thus, if to compare fabrication of monolithic and multilayer vessels of similar application, then in the first case the Infrared System for Non-Destructive Testing (INSNT) comprises only double Automated Ultrasonic Testing (AUTST) and selective X-ray TV Testing (XXTVT) by the results of which the repair is performed, the repeated AUTST and XXVT being carried out after hydraulic tests which have revealed new defects. The INSNT of multilayer vessels contains many additional operations. These are UST of a sheet, shell tightness test, UST of external and internal lap welds, the entire tightness control, XXVT of circumferential welds, test of monolithic edges, layer-by-layer check of penetration depth, etc.

After UST the sheet is dried and the edges grit blasted. To save the working areas the UST, drying and edge grit blasting operations are recommended to be combined. Then the sheet is coiled in a spiral into a shell and an external longitudinal lap joint is made. Before welding the internal longitudinal welds the shells are expanded with 0.7%–0.9% residual deformation to minimise the gaps between them. This joint is checked by the UST and vacuum-bubble (VBT) methods to reveal internal and through defects, respectively. The outside lap joint is recommended to check selectively and only for the presence of incomplete penetrations and cracks. The important peculiarity of UST of longitudinal welds is that here it is not permitted to use any couplants. Therefore, the automatic UST is based on the electromagnetic acoustic (EMA) method.

Peculiar features of multilayer structures and of the technology of their fabrication have determined the specific approach to the selection of NDT methods and techniques. For example, the shells are expanded before welding of the inside longitudinal joint. This allows the metal layers to displace; therefore, the risk of cracking or tearing of the inside lap weld and base metal is less. This allows one to avoid repeated UST and XXVT which are used in fabrication of monolithic metal vessels¹⁰. Thus, the specific features of multilayer joints have determined the peculiarities of the INSNT as well.

The interlayer gaps present in a wall and in contact with molten metal in welding can cause the formation of through defects in welds under favourable conditions. They are particularly undesirable in the inside welds, since gas will penetrate through them into the interlayer cavities. To eliminate possible filling of the interlayer gaps, medium drain holes are made within the internal layers. Through the drain holes, if there are through defects, the medium will pass to atmosphere. If the drain holes are absent, the accumulation of the medium within the interlayer gaps can cause failure of an item.

Hydraulic tests do not provide the reliable detection of small through defects due to lack of time to fill the interlayer gaps with water and to allow the inside pressure to rise. At the same time, in these tests the outside turn can fail because water might not flow out of the drain holes, and pressure between layers might drastically increase. Therefore, it is recommended to check tightness of the inside welds by another method. The simplest way is as follows.

The authors are at the E.O. Paton Electric Welding Institute, 37 Bechtel's Street, Kiev 252050, Ukraine. Fax: +380(44) 268 04 86.

INSIGHT Vol 39 No 9 September 1997

Figure 1 Diagram of application of pneumo-VBT for tightness testing of multilayer structures: 1. electromagnet; 2. connection piece; 3. drain hole; 4. outside interlayer gap; 5. external layer; 6. VBT chamber; 7. weld

The 0.5–0.6 MPa compressed gas is fed into the drain holes by means of electromagnets. Often it is air. After several minutes it reaches its internal layer on whose side the tightness is checked. For these purposes some gas analysis method can be used. In this case the air-test gas mixture is fed into the interlayer gaps.

Figure 1 shows the diagram of the pneumo-VBT of lap weld in a multilayer vessel which, as compared to the conventional VBT, provides the sensitivity higher by the order that reaches 10³–10⁴ times.

To obtain the best results in determining the penetration width and depth and the presence of metal flowing into the gaps, it is preferable to check such items layer-by-layer with the weld reinforcement removed (Figures 2(a), (b), (f)), since ultrasonic

Figure 2 Examples of welded joints in multilayer vessels and other structures

INSIGHT 39 No 9 September 1997

646

Рис. 19.

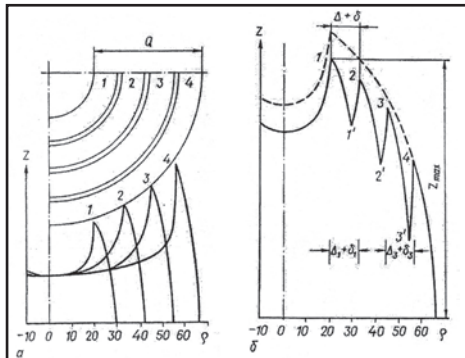


Рис. 20

Рис. 21

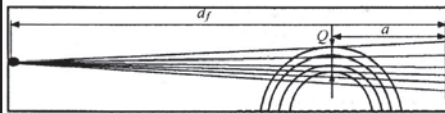


Рис. 22

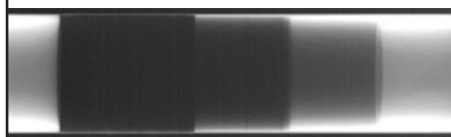


Рис. 23 Рентгенограма труби
Ø32 мм з проточками

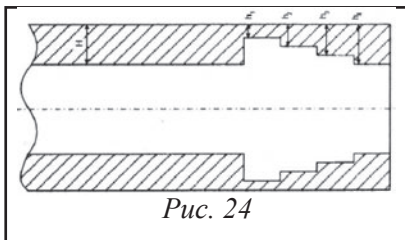


Рис. 24

ма основних причин відмов магістральних газопроводів, і до кожної з дев'яти причин аварій він був небайдужим.

На рис. 27 наведена газотранспортна система Європи. У транспортуванні газу використовуються сотні компресорних станцій. Сотні кілометрів трубопроводів різного призначення має Україна.

Результати вимірювання товщини стінок проточок зразка труби діаметром 32 мм tg-методом.				
Прото-чка	Позначення	Метрологія	Вимірювання, мм	
			актуальне	комп'ютерне
1-я	h_1	0,34	0,4	0,348
2-я	h_2	0,77	0,8	0,768
3-я	h_3	1,32	1,5	1,346
0-я	h_4	2,02	2,1	1,940

Снаряди-дефектоскопи (рис. 28) відрізняються за принципами й конструктивно. Борис Євгенович намагався організувати виробництво такої техніки в Україні (завод «Квант»). Неодноразово ми з Борисом Євгеновичем були на фірмі «Діаскан»

Під керівництвом Б.Є.Патона сумісно з фахівцями Запорізької АЕС були проведені роботи з розробки тангенціального просвічування легованих труб, для яких ультразвукова товщинометрія не можлива. Досліджувались високолеговані труби з діаметрами 32, 38, 57, 76, 89, 108 мм. Зразок з проточками показаний на рис. 24 для труби діаметром 32 мм. Рентгенограма цього зразка зображена на рис. 23. Результати достатньо точних вимірів товщини стінки цього зразку зведені в таблиці.

Над проблемою виробництва і контролю якості багат шарових труб працювали кращі дефектоскопічні уми. Про можливості унікальної технології багат шарових структур відбулась велика дискусія в журналі «Дефектоскопія», № 10, 1985 р.

Завдяки наполегливості Бориса Євгеновича, була вирішена проблема НК багат шарових конструкцій. Після публікації наших досліджень Європейський комітет (CEN) видав стандарт на цю тему.

На рис. 25 зображена смужка меж радіаційного (цифрового) зображення стінок труби та теплоізоляційного покриття: H_c – товщина стінки труби 4 мм; H_{ii} – товщина теплоізоляції 2 мм; D – діаметр труби 60 мм. В якості еталонного зразка для визначення товщини стінок труби використовувався канавковий еталон чутливості № 1 (ГОСТ 7512-82) товщиною 2 мм. Трубобудування – це тільки одна складова трубопровідного транспорту. Борис Євгеновича цікавило все, що стосується проблем цього виду транспорту. На рис. 26 наведена діаграма

Приблизно 70 % з вказаних на рис. 26 дефектів можуть бути виявлені внутрішньотрубними дефектоскопами, що використовують магнітний метод контролю для реєстрації магнітних полів розсіювання, виникаючих при намагнічуванні.



Рис. 25



Рис. 26

(м. Коломна), яка виконувала такий вид НК. Ми допомагали займатися вирішенням цієї проблеми дефектоскопістам України, Болгарії та пострадянських країн.

Розповіді кілька цікавих епізодів щодо нашої з Б.Є. Патеном поїздки до Данії. Наш відділ № 4 багато років контактував



Рис. 27 Газотранспортна система Європи

з Датським товариством НК, данськими фірмами «Migatronik», «FORCE», «JOM». Почалася ця дружба з часів, коли я займався регульованими джерелами струму для зварювання та інших електро-технологічних процесів. Ця діяльність була близька основному виробнику подібного обладнання в Данії – фірмі «Migatronik».

У нас була загальна програма з виробництва джерел струму (рис. 6-11) регульованих магнітною комутацією (рис. 6), основні патенти по якій належать Україні.

Трохи пізніше, коли у нас активізувався дефектоскопічний напрямок, ми почали працювати і з академічною організацією Данії – інститутом «FORCE», який за своєю структурою нагадує ІЕЗ ім. Є.О.Патона. Тому у мене багато добрих вражень від неодноразових тривалих подорожей цією країною. Данія – країна численних островів та вітряків.

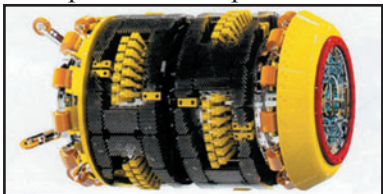


Рис. 28. Снаряд-дефектоскоп для лінійної частини ГТС

Країна, яка споживає тільки 5 % свого валового продукту. Останні 95 % йдуть на експорт. Країна велосипедів і електричок, які не тільки їздять по землі, але й по морю на поромках.

В Данії налічується більш 78 тисяч фермерських господарств, об'єм виробництва яких у 3 рази перевищує потреби країни. Це країна, де парламент засідає вже 700 років.



Рис. 29. Резиденція датської королівської сім'ї



Рис. 30. П'ять веж церкви в Калуннборзі

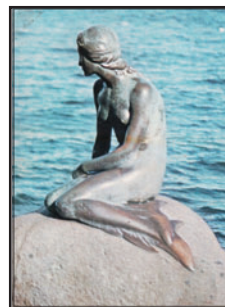


Рис. 31. Русалочка

Символом Данії є Русалочка, що сидить на камені (рис. 31). Вона знаходиться на основній набережній м. Копенгаген. Її охороняють поліцейські. Однак дуже часто вандали залишають Русалочку без

голови, її зрізають автогеном. Це дорогий релікт на ринку коштовностей. Неподальк від Русалочки знаходиться фонтан-монумент (рис. 32) з 8-ю волами, котрі витягають з дна моря мул як родячий ґрунт на голий скельний берег Данії. З цією країною нас



Рис. 32. Фонтан-монумент

Англію. Було багато війн, завоювань вікінгів на різних континентах, були різні державні утворення, які об'єднували Данію, Англію, Норвегію, Швецію, Естонію та інші сучасні країни. Ця країна зіграла важливу роль у розвитку сучасної цивілізації, особливо у північних районах Європи, у тому числі і в долі різних народів, до яких відносяться слов'яни.



Рис. 33 Керівництво фірми «Migatronics» та співробітники Дослідного заводу ІЕЗ ім.Є.О.Патона у м. Києві після успішних переговорів про спільне виробництво зварювальних випрямлячів типу ВСЖ-300 з магнітною комутацією

ництвом не американців, а англійців, бразильців та арабів.

Проамериканський (ІІВ) не брав участі, бо ігнорував інститут JOM. Таку позицію зайняло лоббі ІІВ у Інституті електрозварювання. У цьому потрібно було розбиратися. Крім того, намічалася серйозна кооперація Дослідного заводу ІЕЗ та фірми «Migatronics», яка успішно освоїла нашу магнітну комутацію та збиралася налагодити сумісне виробництво зварювального обладнання.

Фірма «Migatronics» зацікавилася нашими розробками по джерелах живлення та запропонувала працювати разом над цікавими джерелами зварювального струму. На жаль це сталося у період завершення моєї діяльності в області зварювальної електродинаміки. Враховуючи дешеву працю в Україні й високу вартість зварювального обладнання на Заході, намітилася кооперація, яка полягала в тому, щоб з гарних комплектуючих, що виготовляються в Данії, на Дослідному заводі ІЕЗ збирати електронні панелі, трансформатори, блоки силових випрямлячів та ін. вузли, котрі поступали на зборку в Данію. Ці роботи підтримали Б.Є.Патон та дирекція Дослідного заводу ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України.

Борис Євгенович всіяко сприяв нашим контактам з цими трьома данськими організаціями, підтримував наші тривалі відрядження до цієї країни, в тому числі і за

багато що пов'язує. Тому декілька слів про Данію, про вікінгів, їх ролі у розвитку сучасної цивілізації.

Незвична географія Данії. Вона складається з 400 островів та одного півострову – Ютландія, який є продовженням Північної Німеччини. Данії належить самий великий арктичний острів Гренландія, який за розмірами як континент Австралія, відрізняючись від нього тим, що покритий льодом, товщина якого сягає місцями 3 км. Гряда островів Данії відокремлює Балтійське море від Північного моря, тобто ця країна колись контролювала балтійські країни, північну частину Європи та

В інституті «FORCE» розташовувалася і штаб-квартира Датського товариства неруйнівного контролю та Інститут «JOM» – аналог Міжнародного інституту зварювання (ІІВ). «JOM» проводить щорічні конференції зі зварювання. Конкуруючи з ІІВ, цей інститут об'єднував багато НДІ різних країн. Довгий час більшість заходів інституту «JOM» проходило за участю нашого відділу № 4. Ми на конференціях і нарадах представляли дефектоскопію в цьому Європейському товаристві зварювальників.

Назва JOM – це скорочена назва Joining of Materials. JOM на відміну від Міжнародного інституту зварювання (МІЗ), знаходився під керів-

участю технологів Дослідного заводу ІЕЗ. Заступники директора ІЕЗ Лебедев В.К., Дудко Д.А., дирекція Дослідного заводу ІЕЗ уважно стежили за нашою сумісною діяльністю в Данії. Борис Євгенович вирішив взяти особисту участь у черговій нашій поїздки в інститут «ІОМ», відвідати фірми «Migatronik» і «FORCE» (рис. 33).

Борис Євгенович ніколи раніше не був на батьківщині своїх предків, що підігривало його інтерес до цієї поїздки. Якщо минулі відрядження ми організовували самостійно по лінії Українського та Датського товариств НК (зазвичай цим займалися два Юрія: Коржов і Бондаренко), то поїздку міжакадемічного плану організував від президії НАНУ Білодід Р.М. як міждержавний візит. До складу нашої делегації для візиту в Датську академію і в три датські наукові організації, крім Бориса Євгеновича та мене, входили М.І.Зикова і В.К.Лебедев.

Прибули ми у Копенгаген без запізнь під вечір, але, на жаль, нас ніхто не зустрів. У ті часи в Данії не було посольства України, тому ми змушені були звернутися за допомогою до посольства Росії. Тоді між нашими країнами не було війни, і рішення Бориса Євгеновича знайти посольство Росії в Данії було правильним. Був кінець робочого дня, вечоріло, а тих, хто мав нас зустріти не було. Ми залишили Майю Іванівну і Володимира Костянтиновича «сидіти на валізах», а я разом з Борисом Євгеновичем вирушили шукати посольство Росії. Зробити це було не складно, тому що більшість посольств знаходяться в одному районі Копенгагена. Перемови в посольстві Росії нічого не дали. Для вирішення проблем нам порадили на електричці проїхати до Фінляндії, де є посольство України. Довелося влаштуватися самостійно. Вже на другий день за допомогою наших колег з фірм «Migatronik» та «Force» ми дісталися до місця призначення – до Датської академії наук.

Перша зустріч у нас була запланована з президентом Датської академії наук. Не без зусиль, але ми знайшли цю організацію в Копенгагені. З-за президентського стола нам на зустріч піднявся височенний вікінг у поважному віці. Зустрів нас, як рідних, хоч і не розумів, навіщо ми до нього прийшли. Він почав розповідати нам історію освоєння вікінгами Східної Європи, включаючи Україну. Ми з Лебедевим В.К. та Зиковою М.І. слухали його з відкритими ротами, оскільки було дуже професійно і цікаво, а Борис Євгенович не втомлювався сварити Белодіда, який відповідав за організацію цієї поїздки. З'ясувалося, що це зовсім не та Академія, яка повинна була забезпечити наше перебування в цій країні.



Рис. 34. Б.Є.Патон на тенісному корті

У Данії існують кілька академій. Ми потрапили до Академії літератури, історії та пошти, в якій немає технічних установ. Проте, ми все ж змогли побувати в усіх запланованих для нашого візиту організаціях і провели важливу для України роботу.

В інституті «FORCE» Борис Євгенович підписав всі необхідні папери про спільні роботи по запобіганню наслідків аварії на ЧАЕС та спільні заходи щодо вдосконалення діагностики устаткування, що експлуатуються на АЕС України з передачею нам на безоплатній основі універсального ультразвукового приладу P-scan. В наступні роки з данчанами ми неодноразово проводили семінари на ЧАЕС і ХАЕС, демонстрували роботу P-scan, уточнювали діючі на цих станціях режими випробувань обладнання, проводили навчання персоналу

На фірмі «Migatronik», яка виробляє зварювальне обладнання (рис. 33), з якою ми виконували спільні проекти, ми підвели підсумки виробництва зварювальних джерел. Керівництво фірми «Migatronik» розповіло

Б.Є.Патону, як вони представляють спільне з нами виробництво зварювальної техніки, запросило ознайомитися з їх побутом. Господар фірми «Migatronіc» показав свої поля для тенісу, за якими він доглядає за допомогою спеціальної техніки. У Бориса Євгеновича були найулюбленіші захоплення: теніс, водні лижи, плавання (рис. 34).

Особливо цікавою була наша участь в роботі Шостої сесії інституту «JOM», де я виступив з доповіддю щодо наших спільних робіт з фірмами «Migatronіc» і «FORCE».

З великим натхненням присутні вітали Бориса Євгеновича Патона.

Курйозний випадок відбувся на заключній нараді шостої сесії Інституту JOM. Усі присутні зварювальники з різних країн світу добре знали Бориса Євгеновича. Тому й попросили його вимовити напутнє слово. Оскільки всі говорили англійською, то і Борис Євгенович вирішив привітати всіх з успішним завершенням шостих зборів англійською. Не володіючи добре англійською, він слово «шосте» промовив так, що все присутні були у великому захваті. Причину дикого захоплення публіки пояснила Майя Іванівна здивованому Борису Євгеновичу.

З Данії ми відлітали так само непросто, тому що наш літак через погані метеороумови аеропорту в Києві змінив курс і був приземлений в аеропорту Хітроу (Англія), де ми очікували 9 годин на відкриття аеропорту Бориспіль. Тут нас знайшов посол України в Англії Сергій Комісаренко з українцями, які мешкають в Англії. З усією цією публікою Борис Євгенович швидко знайшов спільну мову. В результаті були і пісні, і вірші, які прекрасно читав Борис Євгенович. Як з'ясувалося він добре знав і пам'ятав ранні ліричні вірші П.Г.Тичини.

Датський прилад Р-scan зіграв важливу роль у розповсюдженні УЗК методів TOFD і SAFT як в Україні, так і на всій території СРСР. Після цієї поїздки у нас активізувалися контакти з данськими науковими організаціями «Migatronіc» і «FORCE», в яких побував Борис Євгенович, ми виконували сумісні розробки, проводили загальні семінари на основних АЕС України, привезли з Форсе в Україну трирівневу систему атестації персоналу НК.



Фото 35. G.Nardoni та В.Троїцький

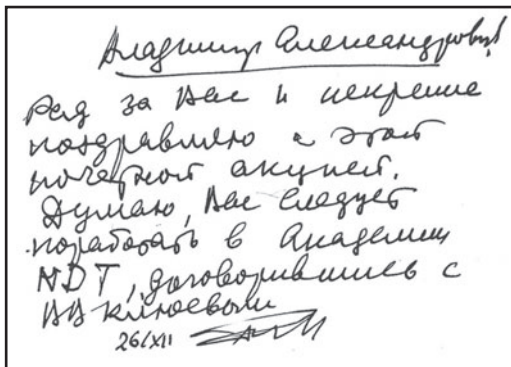


Рис. 36. Записка Б.Є.Патона

Борис Євгенович гаряче підтримав створення Міжнародної академії неруйнівного контролю (ANDTI), був її почесним членом. Установчі збори цієї організації відбулися в м. Брешія (Італія) в Соборі Святого Павла. На фото 36 можна побачити записку Бориса Євгеновича, в якій він щиро вітає створення ANDTI і бажає їй успіху. Не всі міжнародні наукові діячі були такими, як Борис Євгенович, здатними зрозуміти важливість створення на планеті Земля ANDTI. Однак незабаром виникла боротьба навколо ANDTI. До 2011 року серйозно зміцніла опозиція проти ANDTI, яка дорікала дефектоскопістам-академікам ANDTI в дублюванні діяльності EFNDT і ICNDT. І дійсно, статути цих організацій були дуже схожі.

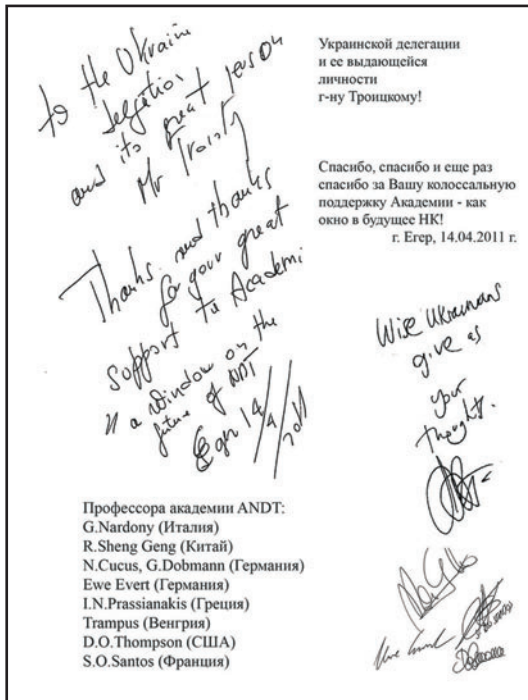


Рис. 37

них товариств EFNDT (Європи) і ICNDT (всієї планети) не можуть замінити і конкурувати зі зборами вчених, тобто з ANDTI. Приклад діяльності Бориса Євгеновича викликав інтерес у членів ANDTI.

Борис Євгенович був членом багатьох міжнародних співтовариств і надавав великого значення фундаментальним академічним наукам, які тільки через деякий час дають практичні результати. Б.Є.Патон знав G.Nardoni, який кілька разів був в нашому Інституті. Тому, коли ми розповіли про багатогранну діяльність Бориса Євгеновича всі професори й академіки ANDTI: G.Nardoni (Італія), R.Sheng Geng (Китай), N.Gucus, G.Dobmann, Vwe Evert (Німеччина), I.N. Prassianakis (Греція), Trampus (Угорщина), D.O.Thompson (США), S.D.Santos (Франція) та ін. були у захваті. Міжнародна дефектоскопічна Академія ANDTI досі продовжує розвиватися. Кількість академіків ANDTI від України збільшилася до 4 осіб. Збільшилося в ній й число Нобелівських Лауреатів. Це був заочний тріумф Бориса Євгеновича. Всі знали, поважали та були готові наслідувати його приклад.



Фото 38. Президент Академії наук України Б.Є.Патон і президент Л.Д.Кучма між собою дружили

Сумний G.Nardoni заявив, що провідні європейські та американські професори вважають, що задум з ANDTI, який так палко (рис. 36) підтримав Б.Є.Патон, є невірним, що діяльність академії є дублюванням EFNDT і ICNDT. Тому, мабуть, засідання не буде, що існування Академії of NDT наразі під питанням. Організаційні збори відбулися. Серед академіків на зборах було кілька професорів з Німеччини, з інститутів Фраунгофера, м. Саарбрюкен, BAM (м. Берлін) та ін. Вони між собою на німецькій мові почали негативно реагувати на ці думки G.Nardoni. Не сподобалася така позиція Президента ANDTI і українській делегації. Я обговорив тему з делегатами з Болгарії, Росії, що далі робити та розповів високому зібранню про діяльність Української академії наук, її Президента – Б.Є. Патона, авторитет та роль академії в Україні. З увагою вислухали мою доповідь про те, як створювалося англійське наукове товариство Royal Society, що є аналогом Академії наук в Англії. Збори спеціалістів з дефектоскопії, науково-техніч-

Було дуже приємно бачити заочні прояви авторитету Бориса Євгеновича за кордоном, бачити його роль у розвитку світової науки. З часом затребуваність дефектоскопії в Україні зростає, і це свого часу зрозумів Борис Євгенович. Чим складніше споруда, тим важливіше періодичний моніторинг його стану різними фізичними методами.

Б.Є.Патон вмів дружити з «сильними світу цього». Цей його дар приносив велику ко-

ристь всій нашій команді (фото 38). Б.Є. Патон і Л.Д. Кучма зіграли важливу роль в становленні дефектоскопії. Борис Євгенович це робив, розуміючи, що без НК обійтися неможливо, будь-який найдосконаліший, добре відпрацьований технологічний процес неможливий без дефектоскопії, а Леонід Данилович довгі роки сприяв проведенню наших національних конференцій з НК на базі ДКБ «Південне».

Роботи з дефектоскопії були дуже затребувані в період становлення атомної енергетики. Борис Євгенович з президентом Академії наук СРСР Александровим проводили великі наради на ЗАЕС, куди приїжджало по кілька великих автобусів, наповнених фахівцями різного профілю з усієї величезної країни, де обговорювалося багато питань та проблем, замовлялись системи обробки рентгенівських зображень твелів та інших елементів АЕС, запускались навчальні центри, супутні заводи та ін. Борис Євгенович надавав великого значення розвитку атомної енергетики України, яка за кількістю АЕС і реакторів поступається лише США та Франції. У нашому інституті досі функціонують дві добре обладнані радіаційні лабораторії, в яких вирішуються фундаментальні теми з цього методу. Наприклад, в радіаційній дефектоскопії значним успіхом ІЕЗ стала розробка фундаментальних понять детермінованої і статистичної оцінки результатів контролю. Вперше були розроблені статистичні еталони, що забезпечують більш об'єктивну оцінку якості, ніж детерміновані еталони, якими користуються в усьому світі, а також основи рухомого рентгентелевізійного контролю (РТК).

Ідея Б.Є.Патона полягала в тому, що при оцінці якості радіаційного зображення за допомогою статистичних еталонів оператор не знає розташування і розміри штучних дефектів. Статистичні еталони важливі для виявлення індивідуальних можливостей операторів-дешифрувальників. Це суто наш, патонівський науковий доробок в оцінці персональних можливостей дефектоскопістів, поки ще чекає свого поширення задля підняття рівня радіаційної дефектоскопії. Таких розробок немає в інших країнах.

Свого часу на Харцизькому і Вихунському трубних цехах Борис Євгенович відвідував камери рентген-телевізійного контролю (РТК), де остаточно вирішувалась доля труби. У цих камерах стояли величезні вакуумні установки для РТК. Тому особливою гордістю Бориса Євгеновича були наші досягнення по створенню мініатюрного портативного цифрового рентгенотелевізійного обладнання на основі високочутливих ПЗЗ-матриць, флуоресціюючих CsI екранів і твердотільних мініатюрних R-перетворювачів. Портативність, наявність цифрової обробки зображень, низька вартість – все це надало нові можливості для виконання дефектоскопії у польових і цехових умовах різних об'єктів. Це численні газо-, нафто- і гідророзподільні трубопроводи, комунікації нафтохімічного виробництва, які майже не перевіряються тому, що вартість плівкової радіографії доволі висока через присутність в її складі срібла. Впровадження засобів портативного РТК зменшило кількість аварій в побуті та на виробництві, дозволило збільшити об'єми контролю якості. Зараз РТК витісняє плівкову радіографію.

Системи портативного РТК дозволяють виконувати рентгеноконтроль на порядок дешевше і швидше, ніж при плівковій рентгенографії. Ці міркування Борис Євгенович вселяв І.К.Походне, коли просив про підтримку придбання для відділу № 4 ІЕЗ японських перетворювачів фірми Hamamatsu для реалізації цих цілей. Ми змогли придбати такі перетворювачі. Спрацювала думка Б.Є.Патона, що ці перетворювачі потрібні не тільки для ІЕЗ, але й для інших інститутів. Зараз РТК замінює плівкову радіографію.

Метод радіаційного телевізійного контролю без витратних матеріалів і без проміжних носіїв інформації з отриманням цифрового зображення в реальному часі був названий в ІЕЗ ім. Є.О.Патона флеш-радіографією. Це фактично портативне рентгентелебачення з електронним записом інформації, яке без додаткового оцифрування і розшифровки може бути передано замовнику через інтернет, записано на твердих носіях інформації.

Впровадження нової назви викликало дискусію науковців США в пресі. Американські фахівці знайшли таке словосполучення в енциклопедії США. Воно стосується радіографії проходження кулі (снаряда) через об'єкт, що фіксується швидкісною кінозйомкою. Зараз з нашої ініціативи флеш-радіографією прийнято називати радіографію без проміжних носіїв інформації. Відмінною особливістю флеш-радіографії є відсутність проміжних носіїв інфор-

мації, радіографічних плівок, напівпровідникових запам'ятовуючих пластин з фотостимулюючою пам'яттю та інших проміжних носіїв інформації.

Поширені зараз у всьому світі радіографічні технології обтяжені проміжними носіями інформації (плівками, н / п пластинами і т.п.), вимагають для підбору режиму неодноразових операцій експонування, виділення інформації, обробки, наявність дорогих технічних пристроїв для оцифровки і зчитування інформації. Відсутність проміжних носіїв інформації (плівок, напівпровідникових пластин) на порядок підвищує продуктивність, дозволяє вести контроль в реальному часі в динаміці і в кілька разів знижує вартість радіоскопічного моніторингу.

Борису Євгеновичу довелося перебувати в різних медичних центрах, багаторазово обстежуватися різними радіаційними методами. Він звернув увагу на відсутність плівкової радіографії. Я обіцяв йому, що цього ми доб'ємося також і в зварювальній техніці. Тому в ІЕЗ ми інтенсивно впроваджуємо безплівкову радіографію для оперативної оцінки

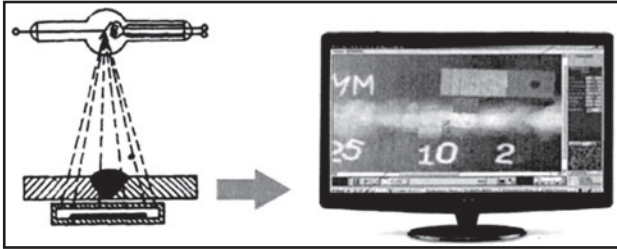


Рис. 39. Схема флеш-радіографії (рентген-телебачення), ДСТУ ISO 17636-2

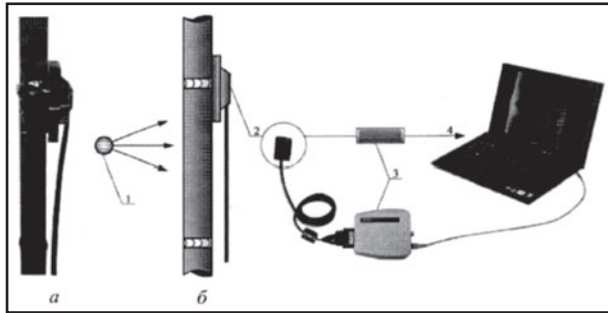


Рис. 40. Контроль стикових з'єднань арматури (а) і труб малого діаметру (б): 1 – джерело випромінювання; 2 – мініатюрний твердотільний перетворювач; 3 – блок передачі зображень; 4 – виведення зображень на монітор

Така технологія на основі твердотільних або оптоелектронних перетворювачів, наведена на рис. 40, після комп'ютерної обробки цифрових зображень дає можливість отримати чутливість до 0,1% і проводити вивчення об'єкта в русі. При цьому підвищується якість виявлення дефектів за рахунок того, що людське око краще розрізняє рухомі дрібні образи, ніж статичні. Контроль ведеться у реальному часі, що Борис Євгенович неодноразово бачив в наших РТК боксах на трубобудівних заводах.

Під час просвічування за схемою на рис. 40 є можливість змінювати положення R-перетворювача і напрямок просвічування, тобто тут присутній томографічний ефект. З'явилася можливість розглядати несущільності, сторонні включення і т.п. у різних ракурсах, бачити, як зовні благополучний шов має внутрішню структуру твердого сиру. Це дуже не подобалося Борису Євгеновичу. Ми його заспокоїли тим, що в американських стандартах бракуються пори, розміри яких перевищують діаметр 3,2 мм, неприпустимі дефектні ситуації, тобто розташування різних пор та інших дефектів один щодо одного.

Важливою перевагою промислової технології (рис. 39, 40) є можливість в процесі просвічування спостерігати за змінами всередині об'єкту по зображенню на екрані монітора, визна-

ки якості зварних швів, заповнення снарядів ВВ, оцінки якості бронепластин та ін. (див. Додатки).

На рис. 39 наведена схема технології миттєвої (флеш) цифрової радіографії на основі флюороскопічних і твердотільних детекторів. Це найшвидший і найдешевший спосіб отримання цифрового рентгенівського зображення в електронному вигляді, який не потребує обладнання для обробки і зчитування, а також додаткового часу на виконання допоміжних операцій. Безплівкова рентгенотелевізійна технологія за схемою на рис. 39 відрізняється великим динамічним діапазоном, який розширює можливість НК, за рахунок того, що дефект краще фіксується операторами в русі. Задля реалізації цих новітніх ідей Борис Євгенович допоміг нам придбати мініатюрний стоматологічний японський перетворювач. Зараз ми почали виробляти такі цифрові перетворювачі самостійно.

чати оптимальні режими. При цьому режими просвічування уточнюються відповідно до зміни радіаційної товщини. Інтуїція Бориса Євгеновича не підвела, безплівкова технологія краща. Портативні, в кілька квадратних сантиметрів твердотільні цифрові електронні перетворювачі без обмежень можуть вільно пересуватися по поверхні об'єкта будь-яких розмірів, з розвитком н/п техніки з'явилися нові технології вирішення у моніторингу.

Невеличкі цифрові зображення від окремих невеликих РТК перетворювачів електронним шляхом зшиваються в загальне зображення цілого великого об'єкта. Роботи ІЕЗ ім.Є.О.Патона



Рис. 41. Після засідання координаційної Ради РЕВ у м. Будапешті представників України, Угорщини і Болгарії

НАНУ на цю тему опубліковані в американському журналі *Materials Evaluation*, № 5, 2023, стор. 22 - 29, а відтворення на інтернет-порталі відомої німецької фірми Durt NDT викликали дискусії в світі рентгенологів. До дискусії на тему перспектив радіоскопічного контролю долучилися російські, тайванські та американські виробники плівкової радіографічної техніки, які побачили в цих досягненнях українських вчених загрозу їх великому бізнесу – виробництву рентгеновських плівок, відповідної техніки та хімії.

Незабаром, використовуючи досвід астрономів, їх ПЗЗ-камери, ми в ІЕЗ навчилися робити власні, більш дешевші, ніж японські, електронні R-перетворювачі для мобільних рентген-телевізійних дефектоскопів, що сканують тіло об'єкта і є радіокерованими.

Борис Євгенович Патон вважав, що майбутнє за рентген-телевізійним контролем без проміжних носіїв інформації зі скануванням, змінами напрямків просвічування, отриманням результатів у реальному часі, як це робиться на таможні.

Можна навести безліч інших прикладів творчих пропозицій Бориса Євгеновича в дефектоскопії, включаючи пошук національної назви нової науки, котру він

назвав «Технічна діагностика та неруйнівний контроль», яка поширилася у всіх пострадянських країнах.

Наведені приклади розробок відділу № 4 ІЕЗ ім.Є.О.Патона НАНУ далеко не відображають всієї повноти інтересів Б.Є.Патона до проблем дефектоскопії та моніторингу. Дуже багато особистого часу їм витрачено на наведення ладу у цій галузі науки в країнах Ради економічної взаємодопомоги (РЕВ). За його дорученням і під його керівництвом створювалися та контролювалися наукові програми РЕВ. Проводилися численні наукові семінари в республіках Югославії, в Угорщині, Німеччині, Болгарії. Декілька учасників такої наради у м. Будапешті з представниками Болгарії, Угорщини, України та інших країн РЕВ показані на фото (рис. 41). Про ці роботи багато написано в моїй монографії «Епізоди життя і творчості в електротехніці і дефектоскопії», К., 2020, НВП «Інтерсервіс», 252 с. та в книзі «Моніторинг стану конструкцій», що присвячена пам'яті Б.Є.Патона.

В Інституті електрозварювання ім.Є.О.Патона виконано чимало робіт з оцінки якості різних споруд, розроблено багато методик радіаційних, магнітних, акустичних, оптичних, теплових та інших методів оцінки стану матеріалів.

До цих спогадів наводяться найбільш цікаві розробки відділу № 4, які були розпочаті під керівництвом Бориса Євгеновича, включно з роботами воєнного часу.

Наприкінці спогадів про Б.Є.Патона – непересічну особистість, великого вченого, про життя та діяльність якого надруковані прижиттєві видання: «Біобібліографія Президента НАН України академіка НАН України», Київ, Наукова думка, 2008; «Избранные труды», Киев, ИЭС им. Е.О.Патона, 2008 та інші твори. Хочу ще раз підкреслити його роль у відокремленні дефектоскопії від астрономії, виділенні де-

фектоскопії у міцне наукове направлення, котре, як і астрономія, вивчає оптичні, магнітні, акустичні, радіаційні та інші фізичні явища.

Ним було введено поняття «технічна діагностика», тобто моніторинг стану об'єктів, що набагато ширше, ніж «неруйнівний контроль».

Він підняв науку про моніторинг та дефектоскопію на державний рівень. Завдяки йому відбулось виготовлення та запровадження автоматизованих систем (АУЗК, РТК та інших) для найбільш небезпечних об'єктів – труб та магістралей газопроводів.

Було розроблено чимало Програм Академії Наук України з вивчення та ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС. У деяких з них мені довелось приймати участь, зокрема в запуску Третього реактора, що має загальні комунікації, включаючи вентиляцію, з пошкодженим Четвертим реактором. Третій реактор необхідно було негайно запускати, тому що офіційно вважалось, що пошкодження були тільки на одному Четвертому реакторі.

Однією з маловідомих була Програма, присвячена вивченню плям осідання важких елементів (U, Co, Ge, Zr, Rn, Po та інших) в Київській, Чернігівській, Гомельській та інших областях з фінансуванням від Німеччини. Ці елементи лягли плямами, що негативно вплинуло на якість води, молока, різних городніх культур.

В селах цих областей та інших районах проводився радіаційний аналіз продуктів, за допомогою обладнання з Німеччини. Очолювали цю Програму Пекер В.М. та представник посольства Німеччини.

Особливо важливим досягненням з часом стає розробка унікального обладнання для НК багатошарових структур і квазібагатошарових матеріалів, котрі, на мою думку, будуть застосовуватися при виготовленні стволів мінометів, броні танків та іншої воєнної техніки. Ще раз повторюю, що ці матеріали міцніші за монолітні. Вони краще витримують ударні навантаження та руйнуються без осколків, без ураження військових.

Поки що публікації з моніторингу багатошарових матеріалів та їх дефектоскопії можна знайти лише в учбовому довіднику «Моніторинг стану конструкцій», Київ, Інтерсервіс, 2022 р., 298 с. Ці дослідження, проведені під керівництвом Бориса Євгеновича, знайдуть застосування при виготовленні довговічних надійних стрілкових стволів, покриттів мостів, бортів морських кораблів.

Насамкінець приведу слова президента РАН академіка Ю.С.Осипова: «Життя Б.Є.Патона – у науці, організації і реалізації наукових досягнень, його суспільна та державна діяльність – воістину великий подвиг в ім'я розвитку Науки, в ім'я Майбутнього». (Біобібліографія Президента НАН України, академіка НАН України, с. 40).

Додаток

ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ
ім. Є.О. Патона НАН України

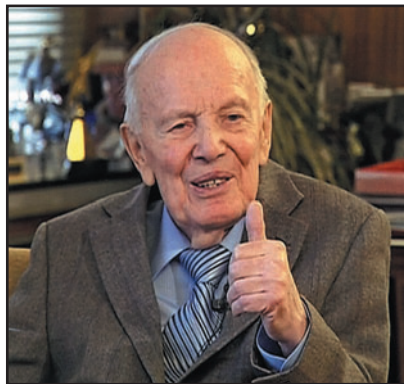
Відділ неруйнівних методів контролю якості (№ 4)



Основні напрямки робіт по дефектоскопії та моніторингу

«Неруйнівний контроль якості матеріалів та з'єднань все частіше застосовується при виготовленні різних машин, конструкцій та споруд, у значній мірі забезпечуючи їх експлуатаційну надійність. Підвищення якості промислової продукції і, як наслідок цього, збільшення терміну її безаварійної експлуатації, неможливі без випереджаючого розвитку методів та засобів неруйнівного контролю».

Академік **Б.Є. Патон**



Київ
2023 р.
ІНТЕРСЕРВІС

ВСТУП

У воєнний час лабораторії відділу № 4 оперативно виконують всі замовлення, які надходять від організацій, що мають відношення до ЗСУ:

- рентгентелевізійний контроль (РТК) якості зварних швів зразків ракет, снарядів, мін на бездефектне заповнення їх вибуховими речовинами;

- НК польових та стаціонарних резервуарів із паливно-мастильними матеріалами та з'ясування причин непридатності до вживання ґрунтової води;

- визначення працездатності стволів гармат, мінометів та інших засобів, в тому яких призводить до їх руйнування, вимірювання товщини та залишкових напружень;

- оцінка можливості подальшого використання цих стволів;

- оцінка якості бронепластин методом РТК, які відповідають ваговим, відстрільним та іншим нормативам, але їх структура не дає 100 % захисту;

- участь у вдосконаленні технології виготовлення титанових та багат шарових стволів мінометів, їх оцінки з використанням засобів НК у даній технології. Описано три типи конструкцій широкозахватних міношукачів з електроприводами з віддаленим знаходженням оператора (на 3 – 4 метри) від зони пошуку мін.

Розроблено рухомі прилади для пошуку постраждалих під завалами зруйнованих житлових будинків для об'єктивної оцінки завданої шкоди.

Запропоновано алгоритми руху дронів. Перший задля запобігання ППО противника, другий – для виявлення мінних полів.

Приведена інформація про інші розробки ефективних засобів НК, які можуть бути використані у воєнний час.

Викладені пропозиції можуть бути корисними для конструкторських бюро, що співпрацюють з ЗСУ, для експертно-технічних центрів та кафедр МОУ.

Матеріал підготовлений для демонстраційного залу ІЕЗ ім.Є.О.Патона НАНУ.
З розробками можна ознайомитися у від. № 4, тел.. 2052215, 2052249.

До нас можна звертатися: e-mail: ndt@paton.kiev.ua,
м. Київ, вул.. К.Малеви́ча, 23, корп.. № 6, к. 511
ІЕЗ ім.Є.О.Патона НАН України.

Зміст

Вступ	2
1. Високопродуктивний візуально-вимірювальний об'єктивний контроль (ВВК).....	4
2. Технологія та прилад для вимірювання важкодоступних сколів і деформацій	5
3. Ендоскопічний контроль теплообмінних трубок в ІЕЗ ім.С.О.Патона.....	5
4. Рухомий оптоелектронний прилад для металографічного контролю.....	6
5. Станіонарний традиційний портативний металографічний контроль	7
6. Дистанційна оцінка технологічного стану промислових об'єктів тепловізійним методом за технологією ІЕЗ ім.С.О.Патона	7
7. Тепловізійний контроль якості паяних з'єднань обмоток потужних електродвигунів	8
8. Дистанційний тепловізійний контроль трубопроводів високого тиску та високої температури	10
9. Магнітооптична дефектоскопія (МОД) та інші поверхневі методи	12
10. Достовірність магнітного контролю залежить від намагнічувальних пристроїв	12
11. Технологія скануючого магнітопорошкового контролю ІЕЗ ім.С.О.Патона	13
12. Приклади скануючих намагнічуючих пристроїв типу ТВА.....	14
13. Моніторинг кодованих підземних трубопроводів точніше по-кілометрової діагностики	14
14. Передбачення зон появи втомних тріщин по градієнту магнітного поля	15
15. Низькочастотний ультразвуковий контроль протяжних інженерних споруд (європейський проект EC LRUT)	15
16. Оцінка деградації металу та доцільності продовження експлуатації старих металоконструкцій	16
17. Технологія ультразвукового моніторингу великих площ корабельних і мостових кон-струкцій (європейський проект Ship-Inspector)	16
18. Радіоскопічний НК великих площ, сполученням контактного та віддаленого від об'єкту мініатюрного R-перетворювача	18
19. Рентгентелевізійні флюороскопічні перетворювачі ІЕЗ ім.С.О.Патона	19
20. Рухомий РТК-флюороскопічний, ЕМА-, ВВК- контроль в ІЕЗ ім.С.О.Патона	20
21. Можливість попередження аварій старих аерокосмічних апаратів	19
22. Скануюча акустико-емісійна технологія зварних швів, що охолоджуються	21
23. Пересувний стенд для капілярного контролю в ІЕЗ ім.С.О.Патона	22
24. РТК-діагностика титанових суглобних імплантатів, вироблених адитивними технологіями	24
25. Міношукачі напівавтоматичні широкозахватні ІЕЗ ім.С.О.Патона	26
26. Оцінка якості бронепластин за допомогою рентгентелевізійного контролю	28
27. Моніторинг стану зруйнованих споруд, оцінка шкоди та пошук постраждалих під руїнами	29
28. Зменшення уражень бойових дронів з імітацією їх ураження.....	31
29. Пропозиція удосконалення повітряного пошуку мінних полів з використанням зйомки з безпілотних літальних апаратів (БПЛА).....	32
30. Навчальний посібник «Моніторинг стану конструкцій»	33
31. Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики (УТ НКТД).....	34
32. Центр сертифікації при УТ НКТД	34
33. Пристрої для високопродуктивного візуального та магнітопорошкового контролю протяжних металоконструкцій	35
34. Технології та засоби контролю герметичності виробів та споруд	35
35. Система ІЕЗ ім.С.О.Патона для швидкої оцінки якості прихованих трубопроводів на-правленими низькочастотними УЗ хвилями	36
36. Технології та обладнання для роздільної реєстрації дефектів зварного шва і зони терміч-ного впливу при автоматизованому ультразвуковому контролі	37
37. Пересувні платформи для візуально-оптичного контролю (ВОК) поверхневих дефектів будь-яких матеріалів	38
38. Технологія ультразвукового контролю зварних виробів та основного металу авіаційних труб малого діаметра	39
39. Високочутливі рентгентелевізійні лінійні перетворювачі	39
X-ray mini-технологія	обкладинка

1. ВИСОКОПРОДУКТИВНИЙ ВІЗУАЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ОБ'ЄКТИВНИЙ КОНТРОЛЬ (ВВК)

Для ВВК розроблені ручні (рис. 1) та дистанційно керовані прилади (рис. 2). При виготовленні та моніторингу металоконструкції важливий об'єктивний візуально-вимірювальний контроль, наприклад, як у таблиці для нафтохімічних виробництв. На рис. 1 ВВК/ТВА-1 складається з: 1а, 1б – світло-лазерне підсвічування шва та навколошовної зони; 2а, 2б, 2в – гвинти для регулювання ширини та висоти світлового підсвічування; 3 – відеокамера з підсвічуванням; 4 – ввімкнення світло-лазерного підсвічування; 5 – роз'єм для заряджання акумулятора; 6 – магнітний утримувач для смартфона; 7; 8 – роз'єм USB/microUSB; 9 – ручка-контейнер, усередині якої знаходяться акумулятори (Укр. патенти №№ 129954, 133382). Прилад застосовувався на арктичній станції ім.

Вернадського.

Об'єкт	Обсяг контролю	Збільшення
Ковані, штамповані деталі	100 % поверхні	10-кратне
Кромки швів	100 % поверхні, включаючи навколошовну зону шириною не менше 30 мм	
Наплавлення	100 % поверхні	3...4-кратне
Зварні з'єднання	Поверхні з навколошовною зоною шириною не менше 30 мм	

При розташуванні відеокамер від поверхні шва 5 – 8 см зображення має дворазове збільшення. При швидкості переміщення 3 м/хв. відеопотік збільшений до 30 кадрів/сек. Зовнішній діаметр головки камери 8 мм, переріз дротів 4 мм²; фокусна відстань від 25 мм; кут огляду 67°; інтерфейс USB/micro. Радіокеровані багатофункціональні платформи (рис. 2),

здатні переміщатися в різних просторових положеннях, включаючи стельове. На фото показана така платформа з Wi-Fi-камерою на зовнішній і внутрішній поверхнях труби. Вона має два колеса, осі яких рознесені, що робить її стійкою на поверхнях будь-якої кривизни, забезпечує розворот на місці 360 градусів. Сила відриву пристрою від поверхні 12 кг. (Пат. Укр № 143653). На рис. 2 зображено: а – загальний вигляд; б, в – стельове та бічне положення на трубі діаметром 1200 мм; г – запис зварного шва; 1) антена 2,4 ГГц; 2) блок радіокерування; 3) акумулятор; 4) Wi-Fi-камера; 5) магнітні колеса.

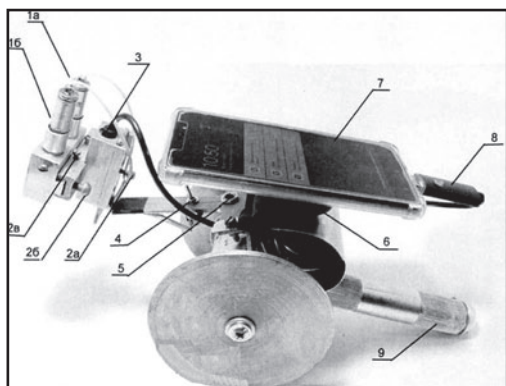


Рис. 1. Прилад ВВК/ТВА-1

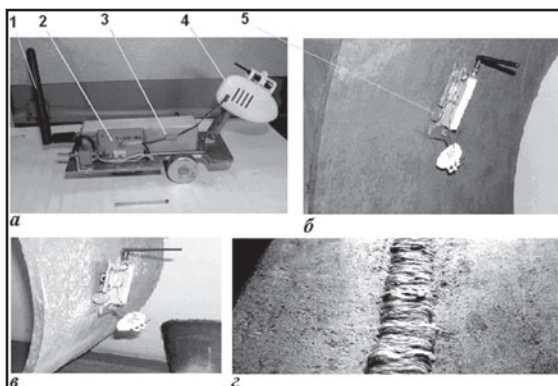


Рис. 2. Універсальна дефектоскопічна платформа

В Україні з 2016 року діє стандарт ДСТУ ISO 5817-2016, який за допустимими дефектами зварні шви розділив на 3 рівні якості: D, C, B. Розміри та кількість допустимих дефектів для рівнів якості D та B відрізняються на порядок. Ремонт допустимий лише для швів рівня якості D.

2. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ПРИЛАД ВИМІРЮВАННЯ ВАЖКОДОСТУПНИХ СКОЛІВ І ДЕФОРМАЦІЙ

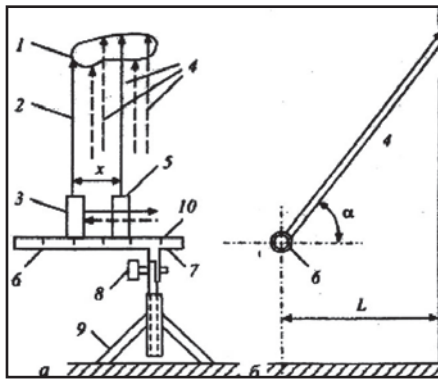


Рис. 1. Побудова контуру і рельєфу поверхні за допомогою двох паралельних лазерних променів

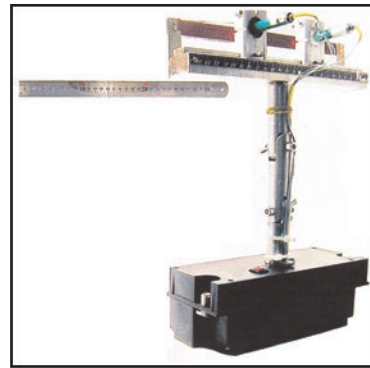


Рис. 2. Фотографія вимірника сколів та деформацій

В ІЕЗ ім.Є.О.Патона розроблений прилад з двома лазерними покажчиками і лазерним вимірювачем відстаней, що володіє пам'яттю і здатністю проводити найпростіші тригонометричні розрахунки, наприклад, за двома вимряними розмірами розраховувати третій розмір – трикутника, квадрата і т.п. На рис. 1 (Пат. Укр. № 133450) показана побудова контуру і рельєфу поверхні за допомогою двох паралельних лазерних променів: 1 – частина поверхні, що випромінюється по рядковим скануванням; 2 – промінь нерухомого базового покажчика; 3, 4 – промені від вимірювального лазера або далекоміра; 5, 6 – вимірювальна панель зі шкалою (мм) і кріпленням 7, що задає напрямок на об'єкт; 8 – фіксатор кута α ; 9 – штатив; 10 – напрямок руху вимірювача 5.

Застосовується вимірювач для визначення зверхнормативних відхилень (прогинів) несучих металоконструкцій каркасів будівель у важкодоступних місцях з подальшою обробкою вимірювань в графічне середовище AutoCAD. Це дає новий рівень обстежень, вимірювати недопустимі дефекти, які раніше не могли бути виміряні.

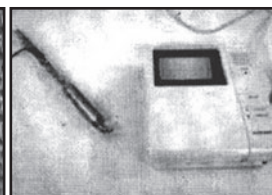
3. ЕНДОСКОПІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТЕПЛОБІМННИХ ТРУБОК в ІЕЗ ім.Є.О.Патона



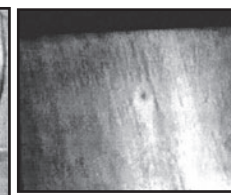
Картина ерозійного пошкодження у гирлі теплообмінної трубки



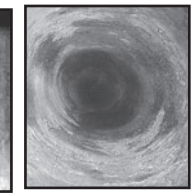
Трубна дошка (коллектор) при введенні в теплообмінну трубку телеендоскопа



Дві телекамери на штанзі та монітор ендоскопа «Патон-ендо-25»



Зображення зварного шва на екрані теледефектоскопа



Зображення трубки зсередини

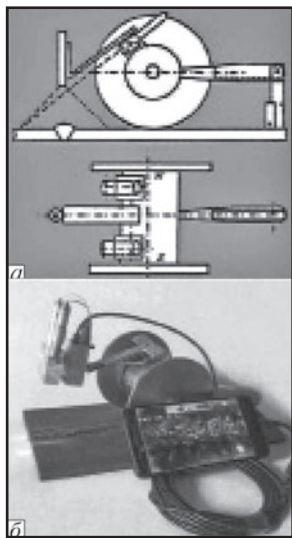
На електростанціях багато теплообмінних агрегатів, до складу яких входить велика кількість теплообмінних труб (ТОТ) $\varnothing 20 \dots 40$ мм. Наприклад, агрегат ПГВ-100М призначений для насиченої пари (ЗАЕ), на моніторингу стану якого показано, що всі електромагнітні й акустичні методи НК менш наглядні, ніж телеендоскопія.



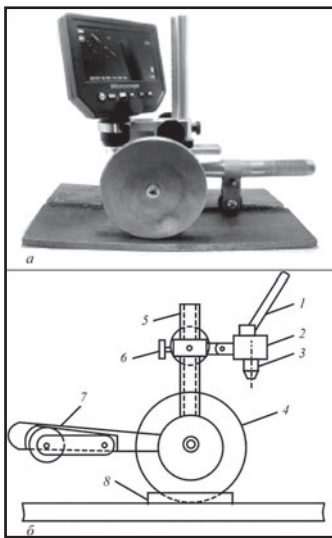
Загальний вигляд несучільностей та їх металографічні шліфи

Трубний ендоскоп «Патон-ендо-25» – це телескопічна штанга (15 м), дві мініатюрні телекамери і монітор. Так можуть бути виявлені окремі фрагменти ТОТ для ремонту й нанесення електрохімічного покриття для захисту метала від ерозії. При цьому герметизуються наскрізні дефекти, що дозволяє подовжити ресурс роботи теплообмінних апаратів у 1,5 – 2 рази. Більш докладну інформацію див. в книзі «Мониторинг состояния конструкций», К., 2022.

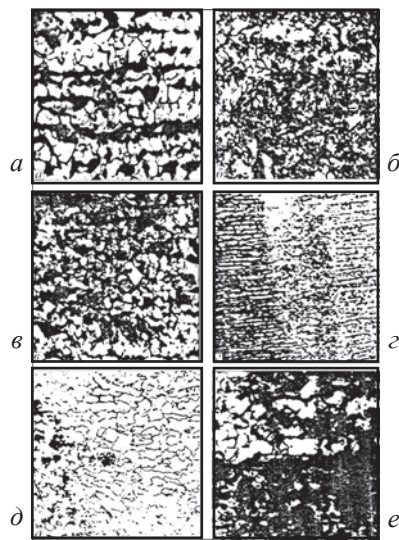
4. РУХОМИЙ ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИЛАД ДЛЯ МЕТАЛОГРАФІЧНОГО КОНТРОЛЮ



Конструктивна схема (а) і зовнішній вигляд (б) пристрою ВВК/ТВА з двома лазерними покажчиками для вимірювання ширини шва, USB веб-камерою та двома підсвічуваннями біля шовних зон (Пат. України № 133383)



Вигляд (а) і схема (б) рухомого мікроскопа: 1 - монітор; 2 - комп'ютер, блок обробки інформації; 3 - відеокамера, об'єктив, підсвічування; 4 - магнітне колесо; 5 - штатив; 6 - регулятор відстані до об'єкту; 7 - ручка зі штангою; 8 - обмежувач переміщень (Пат. України № 136127)



Приклад мікроструктурних фрагментів сталі 17Г1С: а – характерна; б - заочувальна структура мартенсит; в – різнозерність; г – смугастість; д – безуглецькування; е - переважання перліту. Виконується оцінка структури та зберігання зображень в меню налаштувань

З появою оптоелектронних приладів для ВВК стало можливим виконання міжнародних стандартів ДСТУ ISO 6520-1:2015 та ДСТУ ISO 5817:2016.

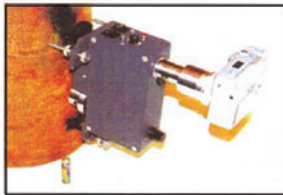
У стандарті ДСТУ ISO 5817:2016 визначено три рівні якості D, C, B, які відрізняються тим, що один і той же дефект (незаповнені розробки, кратер, неправильна форма шва і т.п.) для різних рівнів має різні припустимі значення.



При контролі за допомогою рухомого мікроскопа у зоні розширювання (а, б, в) металу неметалеві включення (а, в), перехідні (б) у тріщини

Рухомі пристрої ВВК/ТВА забезпечують електронний запис зображень та вимір розмірів елементів поверхонь, визначення координат небезпечних зон для їх подальшого вивчення та ремонту. Ці зони можуть бути сфотографовані під різними ракурсами і під різним локальним збільшенням.

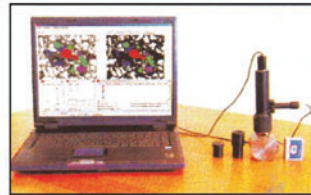
5. СТАЦІОНАРНИЙ ТРАДИЦІЙНИЙ ПОРТАТИВНИЙ МЕТАЛОГРАФІЧНИЙ КОНТРОЛЬ



Мікроскоп МПМ-1К для поверхонь складної геометрії



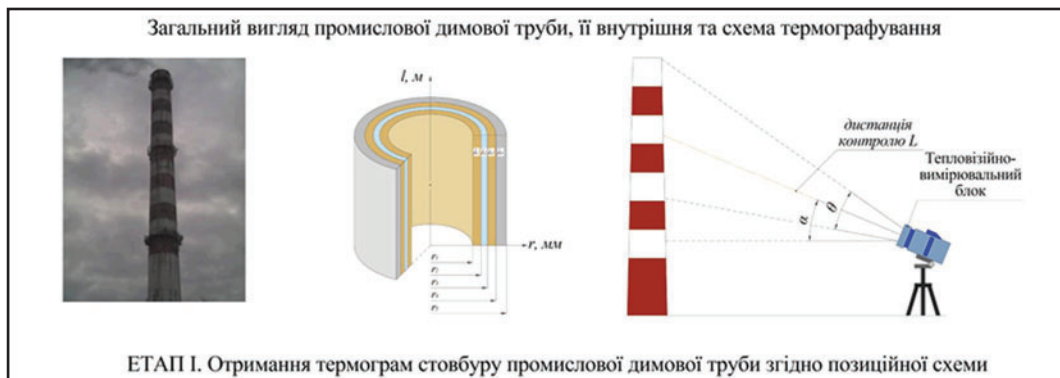
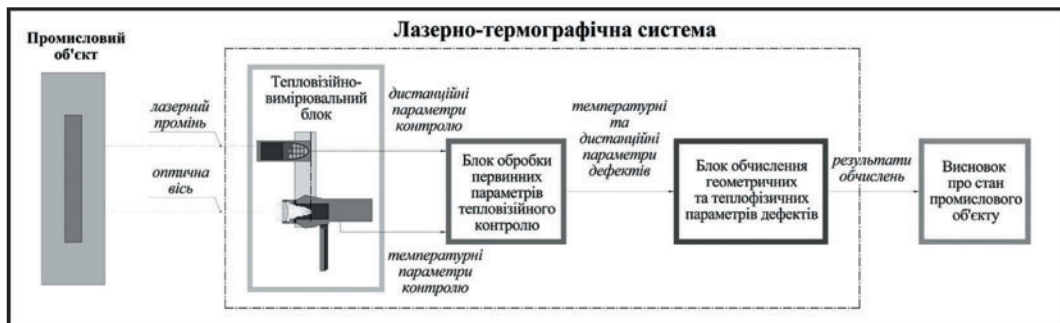
Мікроскоп МПМ-1СП

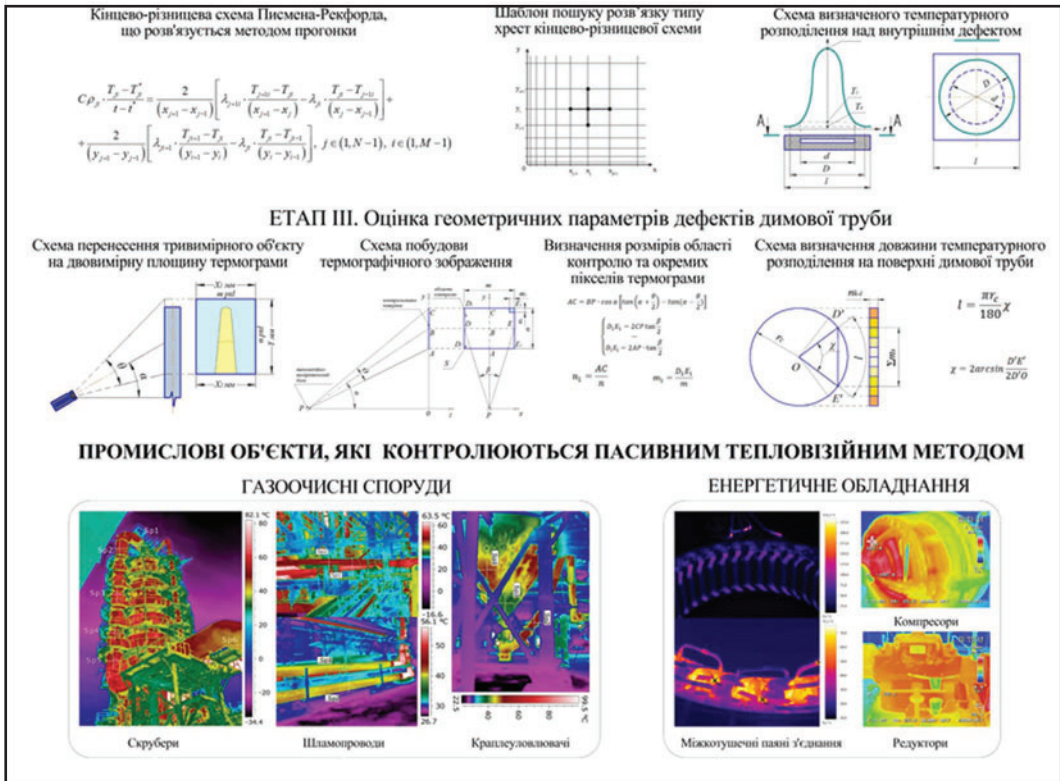
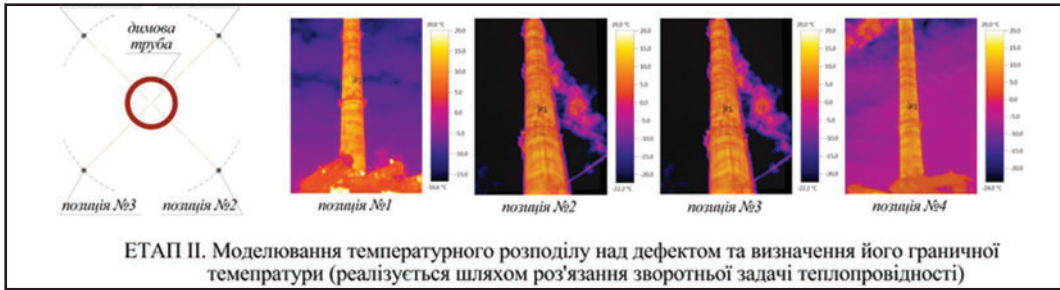


Мобільна комп'ютерна система металографічної мікроскопії КСММ-М

Портативний металографічний мікроскоп МПМ-1К розроблений для оперативної металографії безпосередньо на об'єкті та в лабораторії. Випускаються моделі: МПМ-1К для усіх типів поверхонь, у тому числі складної геометрії, та МПМ-1СП для умов важкого доступу, має магнітні тримачі для фіксації на поверхні, комплектується портативним шліф-обладнанням Transpol-2. Збільшення – '100; '200; '400; '500; '800; роздільна здатність – 1 мкм.

6. ДИСТАНЦІЙНА ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОВІЗІЙНИМ МЕТОДОМ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ІЕЗ ім.Є.О.Патона





7. ТЕЛЕВІЗІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПАЯНИХ З'ЄДНАНЬ ОБМОТОК ПОТУЖНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Найчастіше у паяних з'єднаннях зустрічаються порожнечі та пористість. Ці дефекти порушують цілісність шару припою. Вони несприятливо впливають на міцність паяного з'єднання. В досліджуваних паяних з'єднаннях великих електричних машин в залежності від умов пайки площа пустот може бути від 5% до 65%, що призводить до зниження їхньої міцності. Найбільш вразливим вузлом є статор, на долю якого припадає до 60% відмов, на другому місці – підшипниковий вузол – до 22%, далі ротор – до 9%.

Досліджувані паяні з'єднання статорних обмоток електродвигуна являють собою нахлістне з'єднання двох провідників з прямокутним перерізом (22x10x2 мм). Величина нахльосту лежить в межах від 2 до 2,5 довжини більшої сторони прямокутника. Зразки (рис. 1) були виготовлені на заводі «Великих електричних машин» (м. Н. Каховка, Україна) і є елементами статорних обмоток потужних електродвигунів (рис. 1), їх рентгенограми приведені на рис. 2. При цьому зразок під номером 3 має явні дефекти, що показує рентгенограма (рис. 2).



Рис. 1. Загальний вигляд паяних з'єднань статорних обмоток електродвигуна

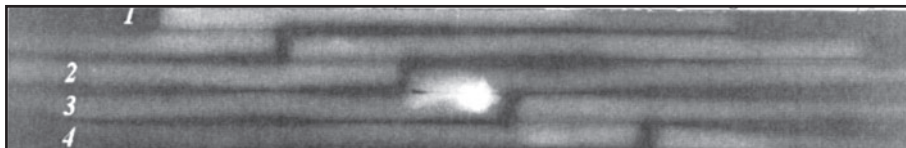


Рис. 2. Рентгенограма чотирьох зразків паяних з'єднань статорних обмоток електродвигуна

На рис. 3 показана залежність значення перевищення температури провідника над температурою навколишнього середовища ΔT_u від величини струму, що проходить через площину паяного з'єднання. На рис. 4 показана залежність граничного значення різниці температур ΔT в зоні припою від відсоткової складової площі пустот в паяному з'єднанні при струмі 500 А.

Таким чином, застосування тепловізійного контролю дозволяє ефективно виявляти дефектні ділянки в паяних з'єднаннях обмоток електричних машин на стадії їх виробництва.

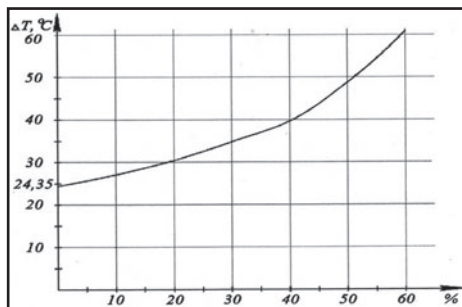


Рис. 3. Залежність значення перевищення температури провідника над температурою навколишнього середовища ΔT_u від величини струму, що проходить через площину паяного з'єднання.

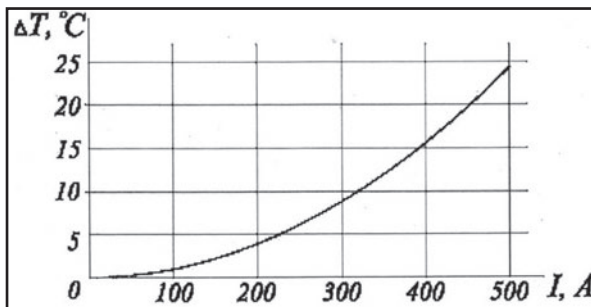


Рис. 4. Залежність граничного значення різниці температур ΔT_u в зоні припою від відсоткової складової площі пустот в паяному з'єднанні при струмі 500 А.

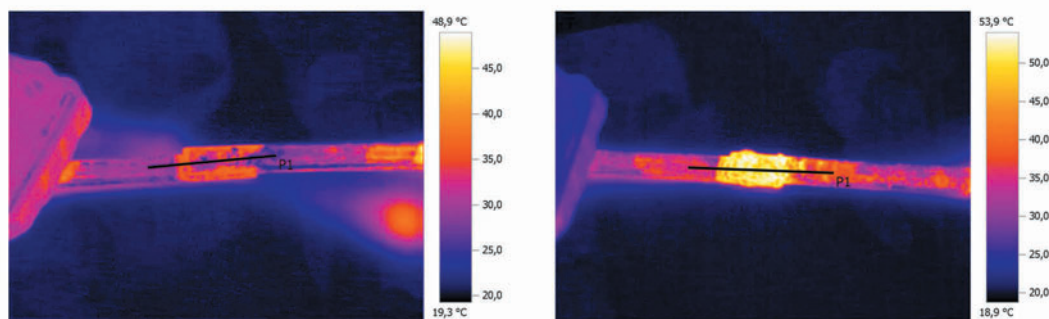


Рис. 5. Термограми бездефектного (а) і дефектного (б) паяних з'єднань.

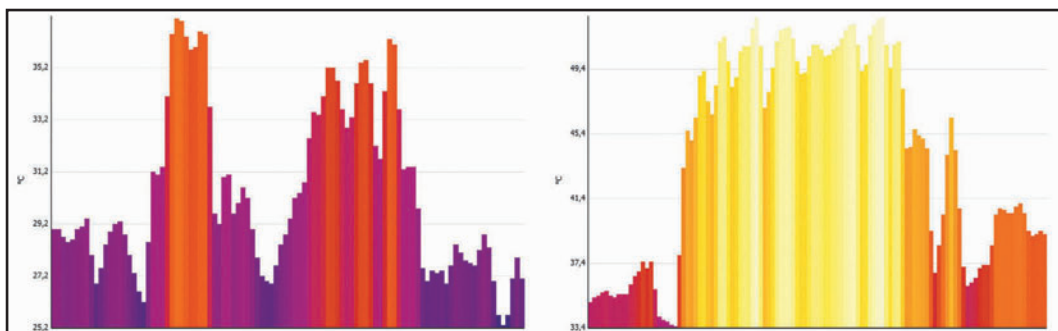


Рис. 6. Гістограма температурного поля вздовж лінії РІ бездефектного (а) та дефектного (б) зразків.

8. ДИСТАНЦІЙНИЙ ТЕПЛОВІЗІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ТРУБОВОДИВ ВИСОКОГО ТИСКУ ТА ВИСОКОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

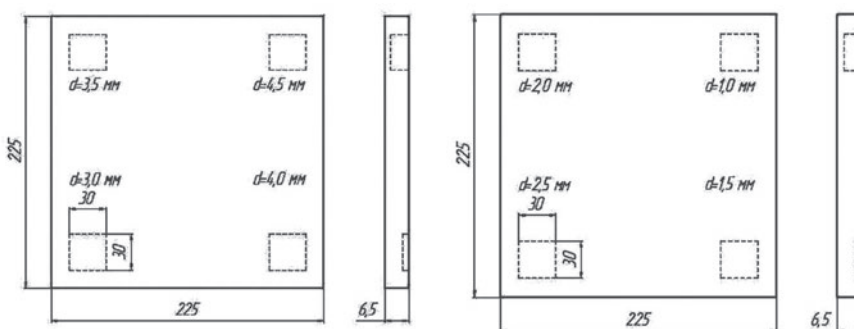


Рис. 1. Схематичне зображення пластин із характерними для труб дефектами у вигляді заглиблень

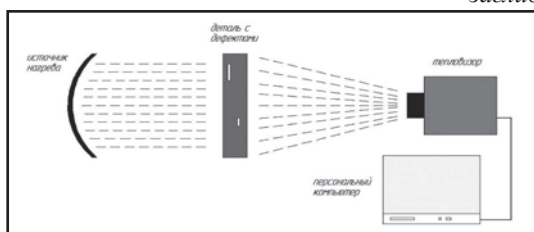


Рис. 2. Схема активного термографічного контролю

Штучні дефекти емітували різну ступінь виносу матеріалу із внутрішньої поверхні труби в результаті впливу корозії та кавітаційної ерозії.

Були виготовлені зразки двох типів: а) прямокутні пластини 225x225x6,5 мм з відповідними прямокутними канавками, глибина яких варіювалася в діапазоні 4,5 – 1,0 мм площею 90 мм²

(рис. 1) прямокутна пластина 200 x 200 x 6,5 мм з канавками повздовжньої форми довжиною 150 мм та глибиною від 1,5 до 5,5 мм (рис. 2а). Процес термографічного контролю зразків з штучними дефектами проводився за наступною схемою

Таблиця 1. Технічні характеристики тепловізора Ti25, Fluke	
Діапазон температурних вимірювань	Від – 20°C до 350°C
Похибка	2°C або 2 %
Екранне підналагодження коефіцієнту випромінювання	присутнє
Кут зображення	23°x17°
Екранне підналагодження коефіцієнту випромінювання	присутнє
Просторова роздільна здатність (IFOV)	2,5 мрад
Мінімальна відстань фокусування	15 см
Тип фокусування	Ручна
Тип датчика	Матриця з фокальної площини 160x120, неохолоджуваємий мікроболометр
Частота зміни кадрів	Частота оновлення 9 Гц
Тип інфрачервоного об'єктиву	Об'єктив 20 мм, F=0,8
Теплова чутливість (NETD)	0,1°C при 30°C (100 мк)
Спектральний діапазон ІЧ	Від 7,5 мкм до 14 мкм
Фотокамера	Роздільна здатність 640x480

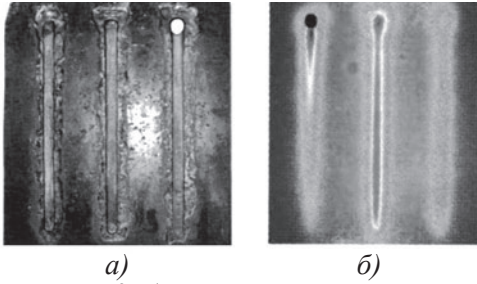


Рис. 3. а) Пластина з штучними дефектами у вигляді протяжних канавок різної глибини. Зліва направо: 1,5 мм, 5,5 мм, 3,5 мм. б) Термограма пластини. Глибина канавок зліва направо: 3,5 мм, 5,5 мм, 1,5 мм. Температура нагрівання пластини 72⁰С.

(рис.2). Виріб нагрівався інфрачервоним випромінюванням до температури 70⁰ С. Нагрів відбувався із сторони відкритих дефектів. Після досягнення заданої температури, проводилась термографічна зйомка. Температура поверхні виробу контролювалась хромель-копелевою термопарою. Поверхня виробу покривалась чорною фарбою, для зменшення похибки вимірювання в процесі зйомки. Коефіцієнт чорноти був рівний 0,86. Термографічна зйомка відбувалась тепловізором Ti25 марки Fluke, (таблиця 1). В якості джерела тепла використовувався інфрачервоний нагрівач безперервної дії з потужністю 950 Вт.

На рис. 3а показана пластина зі штучними дефектами у вигляді протяжних канавок різної глибини. Зліва направо: 1,5 мм, 5,5 мм, 3,5 мм. На рис. 3б показана термограма пластини. Глибина канавок зліва направо: 3,5 мм, 5,5 мм, 1,5 мм. Температура нагрівання пластини 72⁰С.

Тепловізійне обстеження показало, що інтенсивність теплового випромінювання збільшується із зменшенням товщини матеріалу (рис. 4, 5). Так найбільша інтенсивність температурного випромінювання спостерігається в зоні дефекту, глибина якого дорівнює 5,5 мм, а найменша величина інтенсивності відповідно в зоні, де глибина дефекту дорівнює 1,5 мм.

Таким чином, використання термографічного контролю для діагностики стану трубопроводів, що працюють під високим тиском та температурою, дозволяє дистанційно виявляти корозійний та ерозійний знос внутрішніх стінок труб.

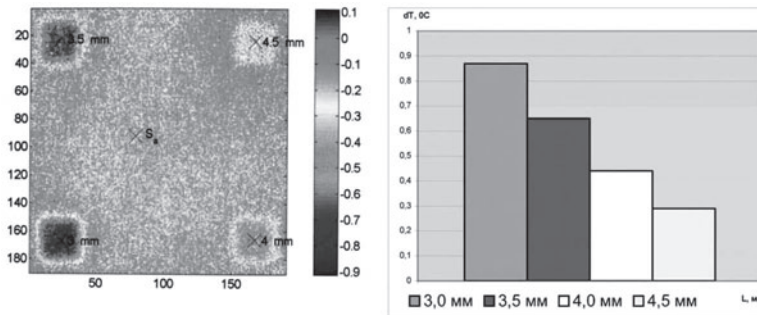


Рис. 4. а) Термограма пластини (рис. 1) із штучними дефектами у вигляді прямокутних заглиблень; б) гістограма залежності температурної інтенсивності випромінювання від товщини метала в місці дефекту.

Визначено, що мінімально виявлені розміри ділянок виносу матеріалу лежать у межах 1,35 см³ для тепловізійних систем, що мають сході характеристики з тепловізором Ti25, Fluke.

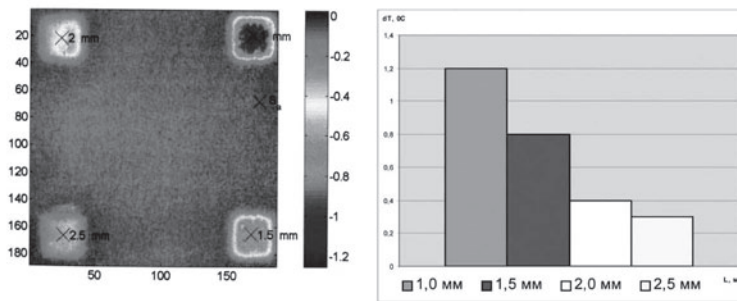
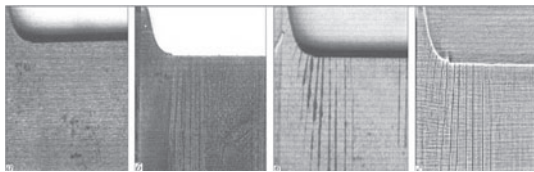
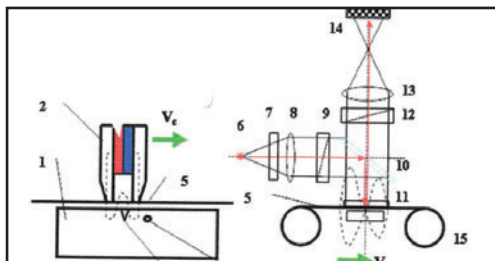


Рис. 5, а) Термограма пластини з штучними дефектами по рис. 1 у вигляді прямокутних заглиблень; б) Гістограма кольорової залежності температурної інтенсивності випромінювання від товщини матеріалу в місці дефекту.

9. МАГНІТООПТИЧНА ДЕФЕКТΟΣКОПІЯ (МОД) ТА ІНШІ ПОВЕРХНЕВІ МЕТОДИ



візуально оптичним; б) капілярним; в) магнітопорошковим; г) МОД. Отримання інформації з-під кородованої поверхні (товщина корозії 0,3-0,5 мм): а) поверхня зразка вирізаного з кузова автомобіля, покритого іржею; б) МОД поверхні того ж тест-зразка, на якому видно номери кузова. З порівняння двох оптичних картинок, намальованих залишковою напругою, впливає рівноцінність МОД та високочутливого МПК.

Найчутливішим методом контролю якості феромагнітних поверхонь є магнітооптична дефектоскопія, яка використовується криміналістами. Вона застосовується для вирішення технічних та кримінальних завдань. Принципова схема МОД: 1 – об'єкт контролю; 2 – генератор локального полюсного намагнічування; 3, 4 – поверхневий та підповерхневий дефекти; 5 – магнітна стрічка; 6 – джерело світла; 7 – теплофільтр; 8 – конденсатор; 9, 12 – поляризатори; 10 – світлорозподільюча пластина; 11 – магнітооптичний перетворювач; 13 – об'єктив; 14 – фотоприймач; 15 – привід магнітної стрічки.

У відділі № 4 ІЕЗ ім.Є.О.Патона проводились роботи по виявленню поверхневих тріщин різними методами: а)

10. ДОСТОВІРНІСТЬ МАГНІТНОГО КОНТРОЛЮ ЗАЛЕЖИТЬ ВІД НАМАГНІЧУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Чотири НП (рис. 1) відрізняються орієнтацією магнітів та перерізом магнітопроводів.

Можливості всіх пристроїв, що намагнічують, визначаються розподілом нормальною складовою поля V_n , які у випадку тросика мають 4 мертві зони. Ці чотири зони поганого виявлення дефектів знаходяться під двома полюсами і в двох місцях, де криві розподілу нормальної складової V_n мають максимальні значення. Чим відстань між полюсами більша, тим сильнішим є прояв цих мертвих зон. Намагнічуючі пристрої з тросиками випускаються в Україні, Німеччині та в інших країнах. Це дискредитує магнітопорошковий метод НК.

Розподіл (рис. 2) складових магнітної індукції на сталевій пластині: а – нормальною V_n ; б – тангенціальною V_t на відстані 40, 60 і 100 мм між полюсами, для тросика (---) та ярма зі сталі (—).

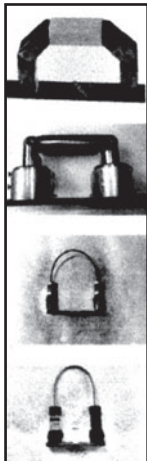


Рис. 1

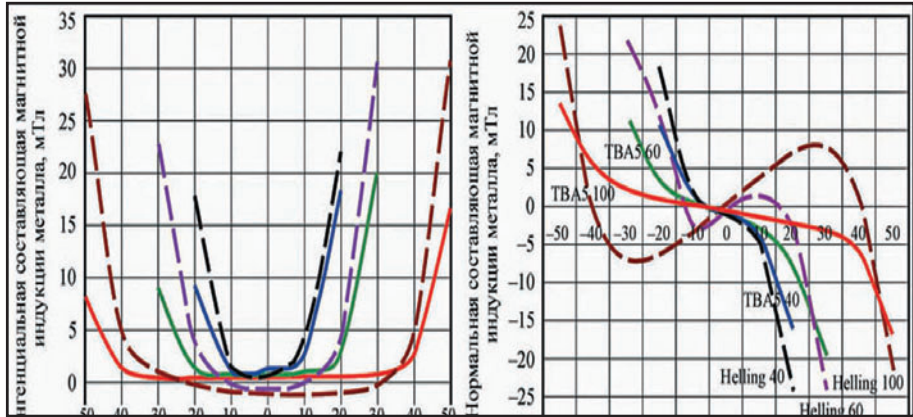


Рис. 2. Розподіл B_t , B_n складових магнітної індукції на сталій пластині: а – тангенційної B_t ; б – нормальної B_n при відстані 40, 50 та 100 мм між полюсами ---- тросик, ярмо зі сталі —

11. ТЕХНОЛОГІЯ СКАНУЮЧОГО МАГНІТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЮ ІЕЗ ім.Є.О.ПАТОНА НАНУ

Для металоконструкцій різних призначень обов'язковий магнітопорошковий контроль.

Традиційний (без сканування)	Новий (зі скануванням)	Рухливі намагнічуючі пристрої типу ТВА плавно змінюють напрями намагнічування (США)
продуктивність		
Має виконуватися трикратна перестановка намагнічуючого пристрою в одній точці і багаторазова вздовж зварного шва	Різнострамоване плавне переміщення по поверхні та виявлення тріщин різної орієнтації без відриву намагнічуючого пристрою від об'єкта	
мобільність		
При кожній перестановці намагнічуючого пристрою потрібно докласти зусилля 20 – 30 кг/с	Контроль об'єктів без відриву НУ від поверхні об'єкту	
швидкість		
Низька, визначається кількістю перестановок та процедур МПК	Висока, процедура МПК виконується в русі	
достовірність		<p>WCI until 1998 when I was hired by ASNT as a certification specialist to work on the ACCP (ASNT Central Certification Program). I was laid off in February 1999 due to budget cuts but was recalled to replace the ACCP supervisor in August 1999. The technical services manager position came open in September, and I was appointed as the interim manager, applied for the job on a permanent basis and became the technical services manager in November, the position I have held to date.</p> <p>Q: What are your certifications?</p> <p>A: I passed the AWS Certified Welding Inspector exam in 1977 and am an AWS Lifetime member. During the time I worked for MJC I had Level I in RT and UT and Level II in MT and PT, got my Level III in RT at Cotam Inspection in 1977 and my Level II in UT at WCI in 1980. In 1984 I was certified as an ASNT NDT Level III in MT and PT, let my Level III cert lapse in 1989 and had to retake the MT and PT (and yes, I had to retake the Basic exam) in 1990, when I added RT and UT. In 1999 I earned my AWS Senior Welding Inspector certificate and my ACCP Professional Level III in MT, PT, RT, and UT. In 2005 I earned my ASNT NDT Level III in VT and in 2011 I received my ACCP Professional Level III in VT. I also held the American Society for Quality's Certified Quality Auditor certification from December 1998 to December 2004, when I let it lapse.</p> <p>Q: Why is it beneficial to certify in multiple methods and organizations?</p> <p>A: Probably the biggest advantage is that it lends credibility. When a person only has certifications issued by his own organization there can be some doubt about the validity of those qualifications. Having certifications from other organizations tends to remove those doubts. An additional advantage is that it helps you to stay current in related fields.</p> <p>Q: What committees are you on?</p> <p>A: I'm an affiliate member of the Conference of Radiation Control Program Directors and a resource person for its G-34 Committee, Committee on Industrial Radiography. I sit on three ASME Boiler and Pressure Vessel Code bodies: I'm a Section V Committee member, I'm the vice chair of the Section V Subgroup General Requirements/Personnel Qualification and Inquiries, and I'm a member of the Section XI Working Group that addresses personal qualification. Since I'm already at the ASME Code Week meetings I also attend other NDT-related meetings.</p> <p>Q: Are you active in the Central Ohio Section?</p> <p>A: I went through the Section chain back in the '80s and now attend the meetings whenever I can. I know a fair number of the people that are in the Section, but as an ASNT staff member I kind of stay independent because I don't want to impose on them. However, I do join in on the discussions, though I will not hold office in the Section.</p>
Пропуск дефектних ділянок через дискретність намагнічування поверхні	Різнострамоване плавне, багаторазове сканування з різною швидкістю під різними кутами	ASNT TNT January 2015 15

12. ПРИКЛАДИ СКАНУЮЧИХ НАМАГНІЧУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ТИПУ ТВА



13. МОНИТОРИНГ КОДОВАНИХ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВІДІВ ТОЧНІШЕ ПО-КІЛОМЕТРОВОЇ ДІАГНОСТИКИ

Всі види НК випробувань, включаючи внутрішньотрубну діагностику для підземних магістральних трубопроводів, дають свою, прив'язану до GPS по-кілометрову інформацію, яка сприймається ремонтниками тільки після підтвердження її ручними засобами дефектоскопії, що часто закінчується серйозними проблемами при пошуку дефектної труби, так як всі труби знеособлені, прилади ремонтників інші. Якість кожної труби індивідуальна, в неї своя історія, тому повинен бути і неї номер, по якому пишеться її історія 30 – 50 років. Дуже наочним є наведений нижче спосіб кодування, розроблений в ІЕЗ ім.Є.О.Патона за допомогою пластин з отворами (Патент України № 117115). На другому рисунку показано, як можна формувати кодові номери зі шматочків металу, стандартних профілів металопрокату, як за допомогою трьох типів смужок металу різної протяжності можна написати всі десять цифр та різні знаки, розроблені для КІР. Такі номери читаються як внутрішньо трубним снарядом, так і ручним дефектоскопом.

<p>Вастосовувані засоби розмітки</p> <p>Розташування маркерних пластин на трубопроводі: 1 – стінка труби; 2 – кільцевий монтажний стик; 3 – хомут</p> <p>Маркування труби: 1 – баластне покриття; 2 – тіло труби; 3 – маркер KD13229.00.000</p> <p>Розташування кодової пластини (1) в зоні монтажної (2) і перетину поздовжнього (3) швів</p>	<p>Пропоновані кодові знаки</p> <p>Маркерна пластина з 14 довільно розташованими отворами, число яких відповідає номеру труби</p> <p>Маркерна пластина з отворами, які відповідають номеру монтажної шви (№ 9175)</p> <p>Кодова пластина з одним (10) з відкритим отвором із 30-тю можливих та 7-ю можливими пазами по периферії</p>	<p>Цифрові позначення з трьох типів кусочків профільного металопрокату за патентом України та заявці КНР 201810015494</p>
---	---	---

Борис Євгенович глибоко переживав аварії на трубопроводному транспорті газу, нафтопродуктів, аміаку та ін. Він розумів, що облік індивідуальних особливостей кожної труби (її походження, вік, ремонт, умови перебування у землі, природні й експлуатаційні навантаження) можуть бути враховані тільки при кодуванні кожної труби. Цим проблемам присвячена серія наших технічних рішень (Пат. України №№ 117193, 7309) та публікації в провідних журналах різних країн (України, Болгарії та ін.).

14. ПЕРЕДБАЧЕННЯ ЗОН ПОЯВИ ВТОМНИХ ТРІЩИН ПО ГРАДІЄНТУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

При циклічному навантаженні феромагнітних конструкцій можна визначити місця появи в них втомних тріщин, якщо спостерігати за природним магнітним полем на їх поверхні.

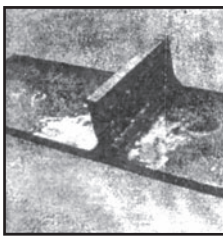


Рис. 1. Випробувальний стандартний зразок

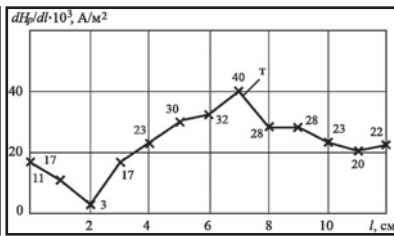


Рис. 2. Розподіл градієнтної нормальної H складової магнітного поля вздовж зварного шву



Рис. 3. Обстеження ободу рудного транспорту

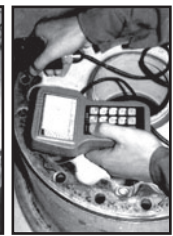


Рис. 4. Пошук зон перед можливим руйнуванням в ободах колеса літака

На рис. 1 показано фото таврового зразка із сталі 03Г2С ($\sigma_{0,2}=350$ МПа) товщиною 10 мм з розмірами 120x450 мм та поперечним ребром 40 мм. Такі зразки піддавалися в ІЄЗ ім.Є.О.Патона циклічному консольному вигину з напругою 160 МПа при частоті 14 Гц. Після кожних 50 тис. циклів біля кутових швів вимірювали нормальну складову магнітного поля та будували графік $H_p=f(l)$ і градієнта $dH_p/dl=f(l)$. Встановлено, що градієнт розподілу магнітного поля та його величина є основними вказівниками місць майбутніх втомних тріщин. Подробиці цих досліджень можна знайти в кн. «Мониторинг состояния конструкций», К., 2022.

При циклічному навантаженні перед утворенням втомних тріщин спостерігається інтенсивне збільшення природного градієнта магнітного поля. Воно викликане утворенням в металі стійких смуг ковзання, які передують розвитку втомних тріщин. Це надійний метод передбачення цих тріщин, якщо досягнуто 75...90 % належних йому циклічних навантажень. Такий моніторинг на передруйнування особливо важливий для транспортних засобів, оцінки ризику подовження експлуатації.

15. НИЗЬКОЧАСТОТНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ ПРОТЯЖНИХ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД (ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ПРОЕКТ ЕС LRUT)

Низькочастотний ультразвуковий контроль заснований на використанні направлених хвиль, що розповсюджуються на великій відстані від місця установки антени, що дозволяє виявляти різні корозійні ураження у спорудах за луно-сигналами без сканування об'єкту.

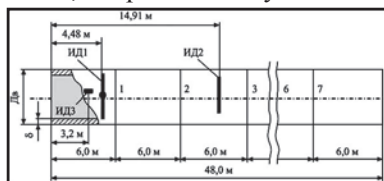


Рис. 1. Схема експериментального трубопроводу зі штучними дефектами

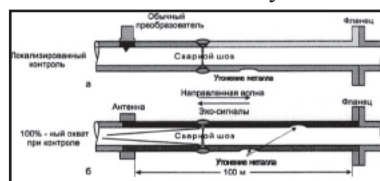
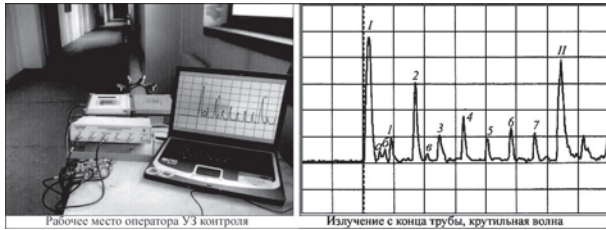


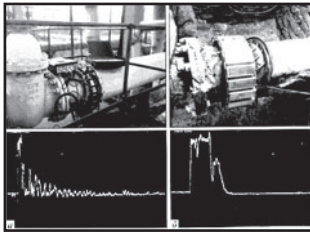
Схема контролю трубопроводу звичайними методами (а) і довгохвильовим УЗК (б)

На рис. 1. показана схема експериментального трубопроводу зі штучними

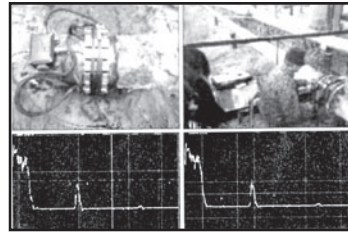


I – початковий (зондувальний) сигнал; II – луно-сигнал від торця труби; 1 – 7 – луно-сигнали від зварних з'єднань; а, б, в – луно-сигнали від штучних дефектів ИДЗ, ИД1, ИД2 відповідно

чиків на трубопровід; 2 – спрямоване НЧ-прозвучення трубопроводу із однієї точки; 3 – вивід діаграми контролю та оцінка результатів із визначенням дефектів.



Обстеження відкритих (а) та підземних ділянок Красноперекопського газопроводу (б) з проколною ізоляцією



Ультразвукова антена на трубі тепломагістралі, за допомогою якої проводять НЧ УЗК трубопроводу без сканування його поверхні

16. ОЦІНКА ДЕГРАДАЦІЇ МЕТАЛУ ТА ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОДОВЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СТАРИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

Укр. пат. № 14UA11419 від 23.06.2019

За оцінкою глибини проходження НЧ УЗ коливань можна запровадити бальність повноцінності металу. У новому металі НЧ УЗ коливання пробігають відстань L сотні метрів. У сильно деградованому металі, який значно втратив пружні властивості твердого тіла, ці коливання швидко згасають. Вони майже не поширюються $L \sim 0$. За основу повноцінності металу може бути взята ширина проходження зондувального імпульсу, властива всім УЗ випромінювачам $Q = (L - D)/L$. Його протяжність D залежить від випромінювача УЗ коливань. Якщо УЗ коливання згасають лише на рівні протяжності цієї зони, тобто проходження УЗ коливань $L < D$, то $Q = 0$, якість металу як твердого тіла приблизно дорівнює нулю, тобто це вже потерть, поцяткована міжкристалітною корозією, а не кристалічне тіло. Відповідно, для нового металу $Q = 1$, коли протяжність проходження НЧ коливань $L \gg D$. Можуть бути використані інші методи оцінки рівня старіння металу. Але низькочастотний метод хороший тим, що він безеталонний. Для нього не потрібен зразок із аналогічного нового металу. Так, для труб газотранспортного сортаменту може бути запропонована наступна 5-бальна система оцінки ступеня старіння металу: I – висока якість, новий метал: $Q = 1; L \geq 10$; II – середня якість: $Q = 0,9; L \leq 10\Delta$; III – тимчасово допускається до експлуатації: $Q = 0,8; L \approx 5\Delta$; IV – низька якість: $Q < 0,8; L < 5\Delta$; V – експлуатація неприпустима: $Q \ll 0,8; L \ll 5\Delta$. Для вирішення долі старих металоконструкцій цінується не той метод НК, який виявляє найменший дефект, а той метод, який не пропускає приховану велику тріщину. Дрібні дефекти не можуть бути причиною аварій найближчим часом. Пошук небез-

Метод/Властивості	ASFM	MFL	BT	EMA	МПК	НЧ УЗК
Оцінка без думки людини	+	-	-	+	+	+
Якість поверхні не впливає	+	+	+	+	-	+
Витратні матеріали	-	-	-	-	+	-
Можливість контролю кольорових металів	+	-	+	+	-	+
Вимірювання товщин	+	+	-	+	+	-
Рівень сигналів від зазорів	+	+	+	+	+	+

печних тріщин слід проводити без зачистки, з великими зазорами між НК перетворювачем та поверхнею об'єкта зазначеними в таблиці методами.

17. ТЕХНОЛОГІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МОНІТОРИНГУ ВЕЛИКИХ ПЛОЩ КОРАБЕЛЬНИХ І МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ (ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ПРОЕКТ SHIP-INSPECTOR)

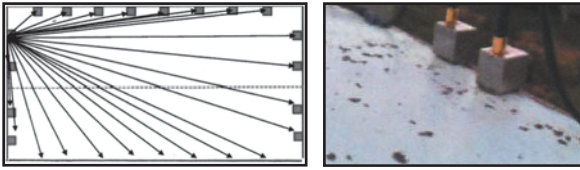


Рис. 1. Розташування сенсорів по периметру (днища)



Рис. 3. Зразок днища 12,6 м з елементами жорсткості, який використовується в корабельних конструкціях

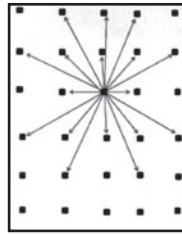


Рис. 2. Мережа ЕМА датчиків для моніторингу внутрішніх поверхонь днища. Показано один випромінюючий датчик з можливими датчиками, що приймають сигнали

Щороку понад 400 кораблів тонуть внаслідок ослаблення конструкцій, поганої якості зварювання. Приблизно один корабель із восьми потоне до закінчення терміну служби (30 років), якщо на ньому не буде моніторингу його стану.

Відділ № 4 ІЕЗ

ім. Є.О.Патона був залучений до виконання Європейського проекту – «Ship-Inspector» (SI). Більшість танкерів сьогодні мають подвійний корпус та подвійне дно. Це робить частину судна недоступною навіть для водолазів із традиційними методами контролю. Подвійні корпуси суден можуть контролюватись тільки з установкою незнімних сенсорів назавжди. Були розроблені електромагнітноакустичні сенсори, яким не треба притиск; та обслуговування. Вони розташовувалися на краю днища, як показано на рис. 1, або у центрі контрольованого днища (рис. 2). Результати проекту були впроваджені в УЗК на танкері водотоннажністю 160 000 т і більше і рекомендовані для супертанкерів водотоннажністю до 400 000 т. Експерименти проводили на зразку днища розміром 12 x 6 м та завтовшки 20 мм, що застосовуються для вантажних танкерних резервуарів водотоннажністю 160 000 т і більше. Проект виконувався спеціалістами Англії, Німеччини, України. Дані. 24 пари перетворювачів розташовували по краю зразка (рис. 1). За певний проміжок часу збирали набір основних даних для різних температур протягом двох місяців. Ці базові показники порівнювали з даними, знятими на цій же ділянці з дефектом. У зразку був виконаний дефект діаметром 40 мм та глибиною 10 мм (1/2 товщини пластини) (рис. 4). По черзі передавали сигнал на кожний перетворювач та підсумовувалися результати. На рис. 5 показані результати порівняння ділянок без дефекту та з дефектом, площа якого складала всього 0,002 % площі днища корабля.

Виконання проекту Ship-Inspector стимулювала розробки електромагнітноакустичного (ЕМА) обладнання для ультразвукового контролю в ІЕЗ ім.Є.О.Патона та в інших організаціях України. ЕМА-перетворювачі були використані для багатошарових труб.



Рис. 4. Дефект у пластині розміром 12x6 м

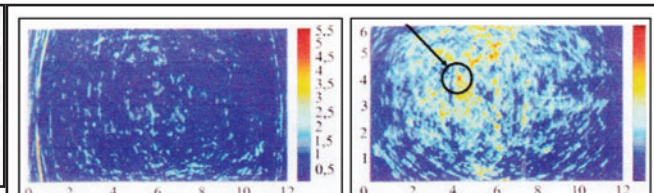
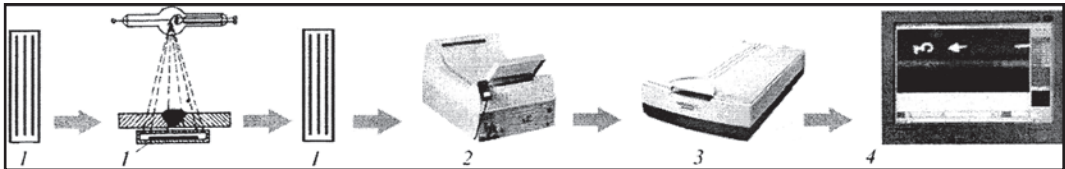


Рис. 5. Зразки без дефекту (а) та дефектом (б)

18. РАДИОСКОПІЧНИЙ НК ВЕЛИКИХ ПЛОЩ СПОЛУЧЕННЯМ КОНТАКТНОГО ТА ВІДДАЛЕНОГО ВІД ОБ'ЄКТУ МІНІАТЮРНОГО РТК-ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Ця X-ray міні технологія може використовуватися для контролю великих виробів, стану стільникових панелей літальних апаратів, структури композитів, досліджень замкнених просторів, де неможливо розмістити традиційні плівки, запам'ятовуючі радіоскопічні пластини або великі РТК-перетворювачі.

Площа нашого R-перетворювача більш ніж на два порядки менша (в 100 раз), ніж площа традиційних касет з плівкою, запам'ятовуючих пластин або плоско-панельних детекторів стандартних розмірів. Вартість такого мініатюрного детектора в десятки раз менша, ніж вартість плоскопанельного РТК детектора стандартних розмірів.



*Рис. 1. Плівковий радіографічний контроль з оцифруванням рентгенограм:
1 – касета з плівкою; 2 – процедури обробки плівки; 3 – сканування знімка;
4 – цифрове зображення*

Керамічні, складно структуровані матеріали з кожним роком отримують все більше поширення. Це корпуси яхт, фюзеляжі, оперення літаків, гвинти вітряків, котрі мають великі площі, які підлягають контролю як при виготовленні, так і у процесі експлуатації. Існують десятки методів оцінки якості, проте, найбільш наочними є плівкова радіографія і рентгентелевізійний контроль. Перший застосовується понад 100 років, другий (РТК) – нещодавно завдяки розвитку оптоелектроніки.

Застосування мініатюрних ПЗЗ перетворювачів для рентгентелевізійного контролю дало поштовх розробкам нових R-технологій, наприклад поєднання контактного просвічування, на якому намічаються зони можливих прихованих дефектів і за допомогою мініатюрного сенсора РТК високої роздільної здатності вивчаються сумнівні зони

великого об'єкта. Вимірювати розміри та розташування в ньому внутрішніх дефектів у реальному часі без використання R-плівок. Так можна проводити моніторинг фюзеляжів старих авіа-апаратів і т.п. Рухливі рентгентелевізійні перетворювачі та R-апарати на колесах дають цікаві рішення моніторингу посудин, труб, фюзеляжів та ін.



(а)



(б)

Рис. 2. Система цифрової обробки зображень (а) і структурна схема програмного забезпечення системи цифрової обробки рентгенограм (б)

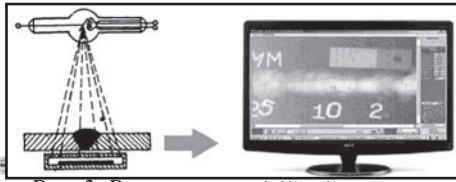


Рис. 3. Рентгелелевізійний контроль (РТК) без проміжних носіїв інформації:
1 – твердотільний перетворювач;
2 – цифрове зображення

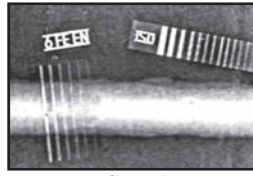


Рис. 4. Стандарт «Радіаційний контроль зварних з'єднань із застосуванням цифрових детекторів» ДСТУ ISO 17636-2

В ІЕЗ ім. С.О. Патона розроблені технології миттєвого цифрового рентгелелевізійного контролю (РТК) на основі флюороскопічних та твердотільних детекторів, способу отримання цифрового зображення дефектів в

електронному вигляді, що не вимагає обробного, зчитувального обладнання, витратних матеріалів, спеціальних приміщень, які потрібні для плівкової радіографії. В ІЕЗ налагоджено виготовлення перетворювачів РТК різного призначення (див. Пат. Укр. №№ 111914, 113257, 120338, 135146, 145831, 143780).

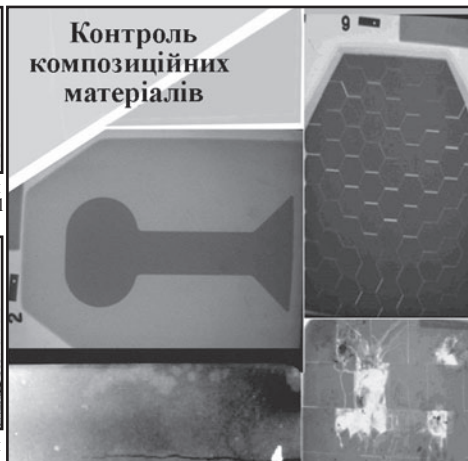
19. РЕНТГЕНТЕЛЕВІЗІЙНІ ФЛЮОРОСКОПІЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ІЕЗ ім.С.О.Патона



Система РТВ-1, діаметр робочого поля 200 мм, відносна чутливість контролю 1 %, роздільна здатність 4 пар ліній/мм



Система РТВ-2, діаметр робочого поля 120 мм, відносна чутливість контролю 1 %, роздільна здатність 5 пар ліній/мм



Рентгелелевізійному контролю з безпосереднім виведенням цифрового зображення на екран комп'ютера, піддавалися 23 бронепластини у повному зборі (пластик + покриття). Була виявлена невідповідність заявлених параметрів та внутрішні дефекти, які не могли бути визначені візуально.

Технічні характеристики системи РТВ-4
Розмір робочого поля 270x350 мм.
Дискретні розміри цифрового рентгелелевізійного зображення 960x2880 точок.
Максимальна напруга рентгелелевізійного випромінювання 200 кВ

Універсальний радіоскопічний (рентгелелевізійний) перетворювач РТВ-4 для контролю якості бронезв'язків, титанових суглобів, труб та ін.

20. РУХОМИЙ РТК-ФЛЮОРОСКОПІЧНИЙ ЕМА-, ВВК-КОНТРОЛЬ В ІЕЗ ім.С.О.Патона

На рис. 4 показані фрагменти моніторингу трубних об'єктів рентгелелевізійним (РТК) методом з використанням дистанційно керованого детектора, схема якого показана на рис. 3. Він складається з платформи (рис. 1) з двома рознесеними один від одного на 45 мм магнітними колесами діаметром 30 мм, флюороскопічної камери, об'єктиву та ПЗЗ-матриці. Невеликі габарити 170x60x60 мм, колеса з індивідуальними електроприводами забезпечують високу маневреність (Патенти України № 143653, 149828).

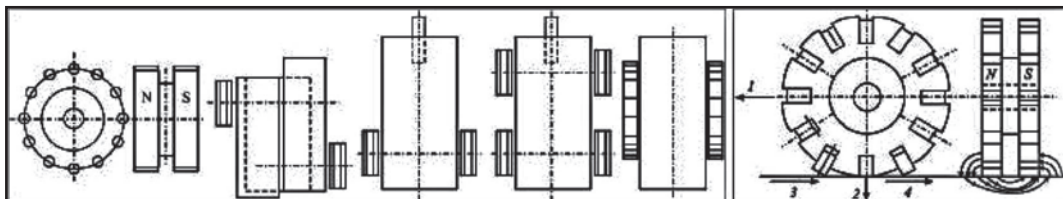


Рис. 1. Дистанційно керовані одно (1)-, двох (2)-, трьох (3)-, чотирьох (4)- колесних дефектоскопічні платформи

Рис. 2. Здвоєне магнітне коло без ковзання по поверхні

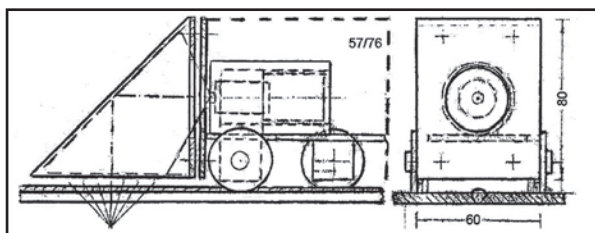


Рис. 3. Схема рухомого РТК-детектора

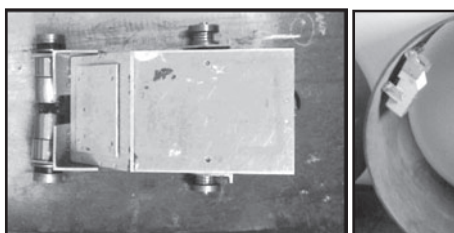


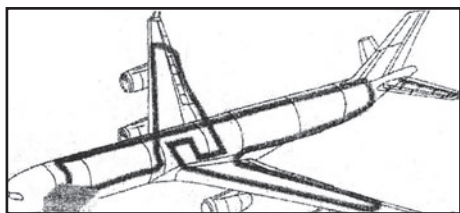
Рис. 4. Перетворювач на об'єкті

Автоматизація НК протяжних об'єктів неможлива без дистанційно керованих платформ, на яких повинні розташовуватися прилади НК. Ці платформи повинні бути маневреними, стійкими, легко дистанційно керованими (рис. 1, 2).

Замість РТК-перетворювача на таких платформах може розташовуватися ЕМА-товщиномір, відеокамера або датчик вимірювання внутрішніх напруг. Вони важливі при оцінці стану великих конструкцій, площин вимірюваних десятками м². В процесі накопичення й обробки інформації про окремі зони різної геометрії результати вимірів транслюється WiFi. На екрані монітора видно цифрові зображення зовнішніх та внутрішніх дефектів. В процесі контролю можна змінити швидкість, напрямок руху, параметри випромінювача: струм, напругу і ракурс розташування датчика, перетворювача, проводити маніпуляції, властиві лише цій технології, недоступні традиційним технологіям.

21. МОЖЛИВІСТЬ ПОПЕРЕДЖЕННЯ АВАРІЙ СТАРИХ АЕРОКОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

Для аерокосмічних апаратів тривалої експлуатації (гвинтокрилів, літаків, космічних станцій та ін.) використовують практично всі відомі методи неруйнівного контролю (НК): магнітні, вихроструміві, ультразвукові, термографічні, радіографічні, оптико-спеклграфічні, герметичності, акустико-емісійні та ін. Всі ці методи НК виконуються у стаціонарних умовах: на землі, в ангарі за допомогою спеціального обладнання, приладів й пристосувань.



Найбільш відомим космічним апаратом, який знаходився на орбіті декілька десятиріч, є Міжнародна космічна станція (МКС), на яку постійно прибували космонавти із різних країн. Вони виходили у відкритий космос для ремонту МКС. Найчастіше, як і в інших аерокос-

мічних апаратах, виявлялися пошкодження обшивки МКС через зіткнення зі сміттям та дрібними метеоритами, наявності вібрацій.

На МКС був виявлений наскрізний дефект, через який виходив потік повітря з МКС. Цей потік повітря був виявлений випадково, дякуючи шлейфу чайного порошку з розіграного чайного пакетика. Причиною цієї розгерметизації МКС виявилася наскрізна тріщина в обшивці, розміри якої так і не вдалося встановити через складність внутрішньої обшивки салону МКС. Очевидно, шлях повітря під обшивкою був складний, який так і остався невивченим. Не виключено, що подібних місць на МКС було багато. Рішення було прийняте просте: залатати зону потоку зсередини, куди показав чайним порошок, оскільки ззовні цю зону не знайшли. Цей випадок з мікро-негерметичністю на МКС підтверджує необхідність мати на літаках, гвинтокрилах тривалої експлуатації засоби, які будуть виявляти зону тріщин від втомлюваності металу зсередини апарату. Це можна зробити, якщо вивчити локальний радіаційний фон, його розподіл всередині фюзеляжу. Там, де тріщина, через яку виходив потік повітря, повинен бути підвищений радіаційний фон. За рівнем цього фону, його інтенсивності можна судити наявності ушкоджень, тріщин.

Часто старі гвинтокрили, літаки руйнуються через приховані під обшивкою тріщини. Фюзеляжі літальних апаратів відчувають великі вібрації і практично не мають ресурсних регламентованих обмежень, які є для всіх механічних вузлів літального апарату.

Пошук прихованих дефектів фюзеляжу може здійснюватися на основі природного космічного радіаційного фону, який у стаціонарних земних умовах може бути посилений зовнішніми випромінювачами. Першою процедурою є вивчення картини R-фону за допомогою дозиметрів. Зазвичай інтенсивність R-фону в дозиметрах перетворюється на інтенсивність звукового сигналу. Це дозволяє швидко і точно встановити зони тріщин під обшивкою, розміри яких можна вивчити на рентгентелевізійному моніторі. Обшивка літака найчастіше багатощарова, включає металічні елементи. Це треба враховувати. Періодичність моніторингу фюзеляжів, його глибина, як і механічних деталей, повинна визначатися загальним часом польотів. Виконання РТК-моніторингу зменшить кількість авіакатастроф старих гелікоптерів та літаків. На рис. показані контури фюзеляжу, які повинні піддаватися РТК. Пат. Укр. № 149201 від 27.10.2021 «Спосіб моніторингу стану аерокосмічних апаратів довготривалої експлуатації».

22. СКАНУЮЧА АКУСТИКО-ЕМІСІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРНИХ ШВІВ, ЩО ОХОЛОДЖУЮТЬСЯ, ІЕЗ ім.Є.О.Патона

У залежності від акустичного портрета кожна труба повинна мати подальше різне обстеження на ділянках АУЗК, РТК й РУЗК.

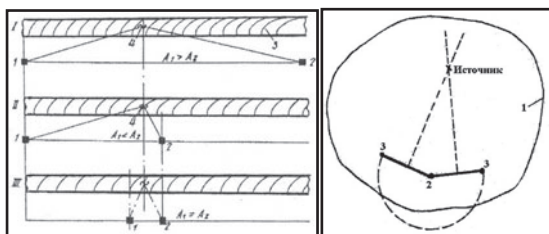


Рис. 1. Визначення розташування дефекту на лінійному об'єкті (А.С. № 1404929 від 16.12.86 р.)

Рис. 2. Принципова схема скануючого АЕ-контролю: 1 – верхня об'єкту; 2 – нерухомий; 3 – рухомий АЕ-приймачі (А.С. № 1411661 від 17.02.87 р.)

Якщо метал якісний і труба виготовлена по відпрацьованій технології, то загальний об'єм НК після аналізу сигналів АЕ повинен бути суттєво меншим. Без аналізу сигналів АЕ всі труби у повному обсязі проходять випробування на усіх ділянках НК. Були у відділі № 4 відповідні міжнародні проекти з країнами: Югославія, Угорщина, Болгарія. По АЕ, було багато патентів і впроваджень, відмічених медалями ВДНГ.

Одним з перших наших винаходів (А.С. № 1204413, 1983 р.) було визначення координат зростаючих дефектів



на остигаючих або навантажених зовнішніми силами швів (рис. 1). Воно полягало в тому, що пошуковий АЕ-приймач переміщують на відстані 40-50 см вздовж остигаючого зварного шва. При цьому сигнали АЕ з'являються достатньо часто. Це просте і ясне рішення неодноразово було застосовано на практиці.

Не менш переконливий скануючий принцип знаходження дефекту оформлений А.С. № 1402923 від 10.11.86 р. під назвою «Способ определения местоположения развивающегося дефекта в линейном объекте» (рис. 2). Суть цього принципу знаходження дефекту за сигналами АЕ полягає в тому, що приймачі сигналів АЕ розташовуються вздовж шва по різні боки від об'єкту, що вивчається. Приймачі сигналів АЕ наближаються до зони випромінювання з двох боків доти, доки амплітуда та інтенсивність сигналів, що приймаються, у приймачів не стануть однаковими. Це говорить про те, що джерело АЕ знаходиться точно по середині між цими приймачами АЕ, як на рис. 2.

Без залучення методів (УЗК, РТК та ін.) наша методика за А.С. № 1422138 від 23.03.87 р. складається у порівнянні АЕ під час зварювання, остигання і механічного навантаження. Спосіб АЕ-контролю може бути остаточним, без застосування розшифровувальних методів, якщо він застосований до масово виробленим однотипним металоконструкціям.

Способи прийняття остаточного рішення про якість виробу тільки за даними АЕ можуть бути і по іншим алгоритмам. Вони потребують ретельного калібрування, як це заявлено в іншому нашому А.С. № 1539650 від 10.09.87 р. (рис. 3).

Нас долучали для отримання АЕ-портретів остигаючих свіжозварених труб, коли на складах готової продукції Харцизького трубного заводу почали тріщати повністю готові до відправлення труби. Початкові роботи з акустико-емісійного контролю у 80-роках минулого століття виконувалися відділом № 4 ІЕЗ ім. Є.О.Патона і їх називали скануюча АЕ-технологія. Ми робили АЕ-дефектоскопи з медичних кардіографів, які були компактні та мали самописці.

23. ПЕРЕСУВНИЙ СТЕНД ДЛЯ КАПЛЯРНОГО КОНТРОЛЮ В ІЕЗ ім. Є.О.Патона



Ширина розкриття тріщини, мкм	Рівень чутливості	
	по ГОСТ 18442	по AMS-2644
Менше 1	I	IV
1-10	II	III
10 - 100	III	II
100 - 500	IV	I
Не нормується	Технологічний	1/2

Капілярний контроль (КК) є одним з методів НК. Він забезпечує хороше виявлення тріщин. Час дії пенетранта від 5 хвилин до 1 години.

В ІЕЗ для виконання КК створено пересувний стенд, обладнаний витяжкою та іншими засобами ефективного контролю. Стенд виготовляється

ся за індивідуальними замовленнями ЦЗЛ та експертно-технічних організацій. КК може здійснюватися кольороконтрастним або люмінесцентним методами.

Елементи капілярного контролю: пенетрант (проникаюча рідина); очищувач надлишку пенетранту; емульгатор; проявник. При вимогах до рівня чутливості не вище III (ASTM 1417) застосовуються пенетранти, що змиваються водою, тобто, не потрібно нанесення емульгатора. Його містить сам пенетрант. Існує багато технологій КК, які додаються до ТУ на стенд.

У світовій практиці керуються американськими стандартами ASTM E 1417, ASTM E 165-95, ASTM E 1209-99 та європейськими стандартами EN ISO 3452-2, BS EN ISO 3452-1:2013 та цілим рядом інших, наприклад, високотемпературний і низькотемпературний КК, умови огляду, критерії оцінки та ін. На пострадянському просторі КК використовуються ГОСТ 18442-80 (ДСТУ EN ISO 3452:2014), ГОСТ 24522-80 (ДСТУ 2865-94), ОСП 90243-83 (наприклад, в авіації ОСП 90282-79, в атомній енергетиці – ПНАЭГ-7-018-89, ПНАЭГ-1-10-89 та ін.)

Дуже тонкі тріщини можуть призвести до появи індикаторного малюнка, який є занадто вузьким для візуального визначення. Практика показала, що індикаторний люмінесцентний малюнок довжиною 0,25 мм може бути виявлений приблизно в 45% випадків, при достовірності 95%; індикаторний малюнок довжиною 1,1 мм може бути виявлений у 90% випадків із достовірністю 95%. Для полегшення виявлення та аналізу дефектів, що виявляються при КК, рекомендується застосовувати оптоелектронні прилади.

Літерні позначення по ДСТУ EN 571-1-2001 дефектоскопічних матеріалів, зазначених у Протоколах:

Пенетрант		Очищувач		Проявник	
Тип	Назва	Спосіб	Назва	Форма	Назва
I	Люмінесцентний пенетрант	A	Вода	a	Порошок
II	Кольоровий пенетрант	B	Ліпофільний емульгатор - на основі масла - на водній основі	b	Водний розчин
III	Люмінесцентний пенетрант	C	Розчинник (рідина)	c	Суспензія на основі води
		D	Гідрофільний емульгатор - попереднє промивання у воді - емульгатор, розчинений водою - остаточне промивання у воді	d	Суспензія на основі розчинника (безводна рідина)
		E	Вода и розчинник	e	Суспензія на основі води

Приклад позначення набору дефектоскопічних матеріалів ДСТУ EN 571-1-2001 – 1Aa-2. Сумісність дефектоскопічних матеріалів з матеріалом контрольованих виробів можна оцінювати за допомогою тесту на корозію так, як описано в ДСТУ EN 571-2-2001. У капілярній дефектоскопії операцію проявлення можна виконувати шляхом створення короточасного (5...10 с) форвакууму (P 380 мм рт. ст.) над досліджуваною поверхнею.

Технічне завдання на виготовлення КК-стенду узгоджується із Замовником.

24. РТК-ДІАГНОСТИКА ТИТАНОВИХ СУГЛОБНИХ ІМПЛАНТАТІВ, ВИРОБЛЕНИХ АДИТИВНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

Градієнти структури, отримані адаптивним методом (АТ) дозволяють забезпечувати зниження модуля потужності в кістках за рахунок наявності в них значного об'єму пор (рис. 1).

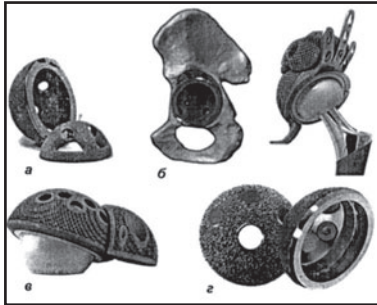


Рис. 1. Зовнішній вигляд імплантатів відомих виробників, отриманих із застосуванням АТ технологій

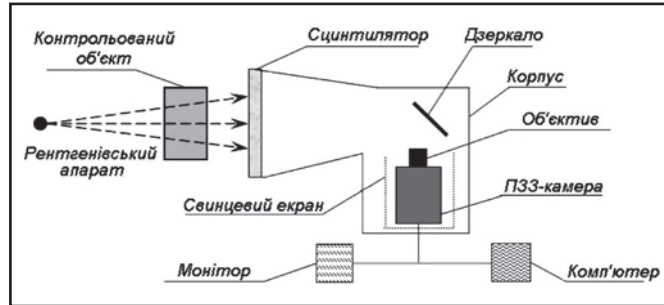


Рис. 2. Зовнішній вигляд та схема установки РТВ-4, використовувані в ІЕЗ ім.Є.О.Патона для контролю якості імплантатів

Кожен із елементів по рис. 1 може бути зроблений під індивідуальне замовлення, якщо до операції хворий пройшов рентгентелевізійне вимірювальне (РТК) обстеження та було отримано його цифрове радіоскопічне зображення, дало можливість виготовлення точної копії замовленого елемента суглоба. Спочатку модель елемента, далі реальний виріб. У передопераційний період важливе точне оцінювання розмірів кісток, де планується розміщення імплантату. В ІЕЗ ім.Є.О.Патона НАНУ для компанії «КАРТЕКС» контроль якості компонента ендопротеза кульшового суглобу виконувався за допомогою цифрової радіоскопічної системи РТВ-4 (рис. 2). Система РТВ-4 побудована по схемі «сцинтилятор-ПЗЗ». Сцинтиляційний екран перетворює тіньове рентгенівське зображення контрольованого об'єкта у видиме.

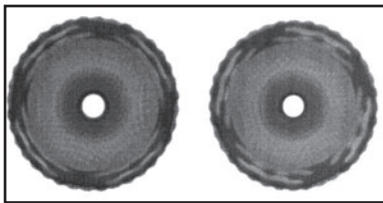


Рис. 3. Цифрові радіоскопічні зображення компонента ендопротеза кульшового суглобу

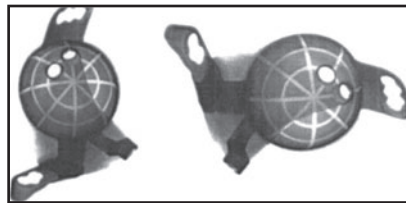


Рис. 4. Цифрові радіоскопічні зображення компонента ендопротеза кульшового суглобу



Рис. 5. Стоматологічний мінісенсор

На рис. 3 та 4 приведені цифрові радіоскопічні зображення, що були отримані на установці по рис. 2 при наступних параметрах: прискорююча напруга – 70 кВ, анодний струм – 10 мА, фокусна відстань – 700 мм та час накопичення зображення – 13 с. Задіяне обладнання: рентгенівський апарат – РАП 150/300, цифрова радіоскопічна система РТВ-4. Структура готового ендопротезу пориста. Максимальний розмір пор достатньо великий 200 – 300 мкм. Оптимальна пористість визначається біологічними вимогами. При інших адитивних технологіях (АТ) середній діаметр пор може бути 500 – 600 мкм.

Роздільна здатність у РТВ-4 дорівнює 80 мкм, що відповідає мінімальному розміру тріщин, що виявляються. Якщо недостатньо такого розміру виявлення мікрodefektів, наприклад тріщин з розкриттям порядку 20 – 30 мкм, для цієї чутливості, то треба застосовувати іншу скануючу рентгентелевізійну систему ІЕЗ ім.Є.О.Патона на основі

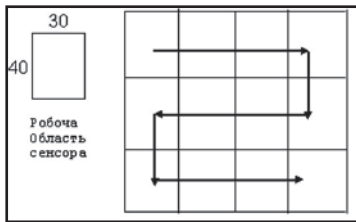


Рис. 6. Схема сканування контрольованого об'єкта за допомогою мінісенсора

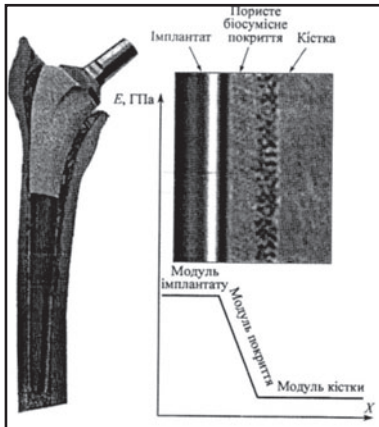


Рис. 7. Розподіл модуля пружності між кісткою та імплантатом

твердотільного рентгенівського мінідетектора, показаного на рис. 5, з роздільною здатністю 25 пар ліній на мм.

Ефект екранування напружень уповільнює процеси відновлення форми та загоєння кістки, яке знижує щільність кісткової тканини із збільшенням її пористості, що може спровокувати відмову функціонування імплантату, а саме нестабільність фіксації імплантату в кістці через її структурні зміни. Нестабільність ендопротезу призводить до збільшення дефектності кістки.

Однією з основних причин відмови імплантату є його асептичне розхитування через зниження щільності кісткової тканини, що викликано недостатнім навантаженням, яке діє на оточуючу ендопротез кістки, оскільки кісткова тканина утворюється та закріплюється в напрямку ліній дії механічних напружень.

АТ також використовують для зниження ефекту екранування напружень шляхом отримання структур з градієнтом розміру та форми пор від поверхні до центра деталі. Такі імплантати мають низку унікальних переваг таких, як висока біосумісність, відкрита взаємозв'язана структура пор, яка сприяє росту кісткової тканини, та наблизений до кісткового модуль пружності. Освоєння РТК-технологій (рис. 2, рис. 5) є вагомою перевагою на шляху до масового застосування АТ у виготовленні складних деталей і індивідуальних протезів та успішних операцій.

Для дослідження великих поверхонь з високою роздільною здатністю треба використовувати сканування поверхні об'єкта (рис. 6) з наступним цифровим (програмним) зшиванням окремих суміжних фрагментів. Так для контролю площі 100×100 мм знадобиться зшивання 4×3 фрагментів.

Застосування мініатюрних ПЗЗ-матриць цікаве при дослідженнях, направлених на запобігання ефекту екранування напружень в системі імплантат-кістка, від яких залежить успіх операції.

Для будь яких складних об'єктів АТ технології дозволяють отримувати деталі шляхом пошарового нанесення матеріалу на підкладку або елемент виробу, виходячи з оптичної або цифрової РТК моделі. На першому етапі виготовлення задаються геометричні параметри шару, проводиться його формування. Ширина, висота, профіль шару є базовими елементами АТ. Всі види АТ (електронно-дугова, лазерна, плазмово-дугова) мають особисті переваги та недоліки. Однак всі вони єдині в необхідності пошарового контролю якості фізичними безконтактними методами. Найбільш перспективним для цих цілей є рентгентелевізійний контроль (РТК) на основі мініатюрних ПЗЗ-сенсорів (рис. 5, рис. 6) та лазерних слідкуючих систем високої роздільної здатності. Особливо це важливо при виготовленні індивідуальних, персональних імплантатів, точна відповідність скелетним кісткам пацієнта знижує ефект екранних напружень в системі імплантат-кістка.

На рис. 7 показаний розподіл модуля пружності між кісткою та імплантатом, які чим менше, тим точніше відповідають імплантату кістки. Борис Євгенович Патон переніс дві такі важкі операції.

РОЗРОБКИ ВОЄННОГО ЧАСУ

25. МІНОШУКАЧІ НАПІВАВТОМАТИЧНІ ШИРОКОЗАХВАТНІ ІЕЗ ім.С.О.ПАТОНА

Через повномасштабне вторгнення російських військ в Україну на сьогодні стає найактуальнішим питанням розмінування сільськогосподарських угідь, лісів, доріг та інших територій країни.

У сільськогосподарських полях, дорогах знаходяться багато мін, снарядів, що не вибухнули, для пошуку яких розроблені конструкції (рис. 2, 3, 4) напівавтоматичних міношукачів на відміну від ручного металошукування (рис. 1). Зменшується вплив суб'єктивності оператора; його стомлюваності; підвищується безпека виявлення мін. Вводиться візуальний аналіз поверхні для пошуку розтяжок, порівняльний аналіз поверхні. Виявлення слідів змін ґрунту – важлива інформаційна складова у пошуку мін.



Рис. 1. Ручні міношукачі різних країн

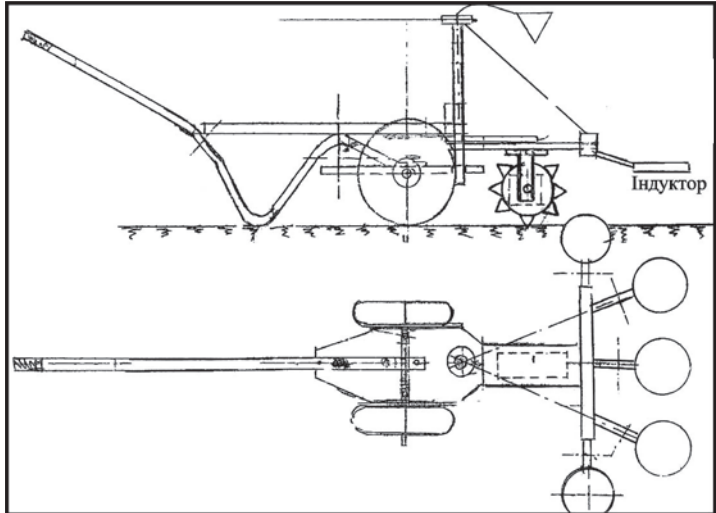


Рис. 2. Широкозахватний міношукач з 5 індукторами

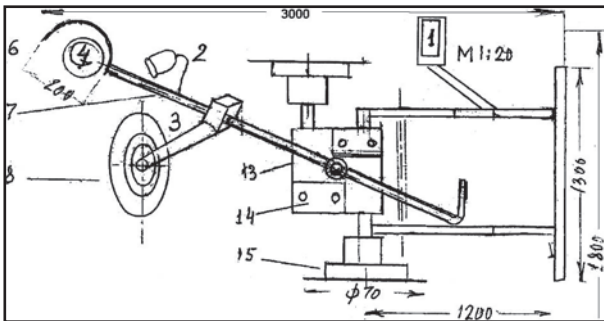


Рис. 3.

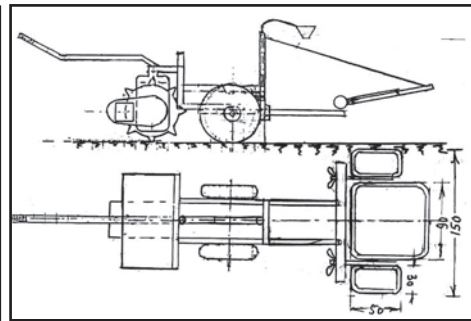


Рис. 4.

Схеми самохідних напівавтоматичних широкозахватних міношукачів

На рис. 2. показана схема широкозахватного міношукача з 5 індукторами, а на рис. 3 зображений міношукач ІЕЗ ім.С.О.Патона з косаркою, індуктором, відеокамерою, монітором та електроприводом: 1 – пульт управління та монітор з результатами візуально-оптичного аналізу поверхні ґрунту; 2 – відеокамера; 3 – телескопічна штанга індуктора; 4 – ZIPTRIM (косарка мініатюрна); 5 – колеса неспіввісні; 6 – робоча телескопічна штанга з індуктором, відеокамерою та косаркою; 7 – рукоятка оператора; 8 – індуктор; 9 – рукоятка штанги; 10 – переключина для оператора; 11 – загострений

тонкий зовнішній диск колеса; 12 – електродвигун з редуктором; 13 – панель з осями для електроприводів та полою вертикальною стійкою; 14 – два акумулятори; 15 – колесо з електроприводом (Пат. Укр. № 153146).

Оператор знаходиться далеко (2,5 – 3,5 м) від зони пошуку. Оператор (рис. 2, 4) притискає провідне колесо до поверхні, що перевіряється. Якщо він перестає це робити, міношукач зупиняється. Провідне колесо виходить із зачеплення з ґрунтом. Міношукачі (рис. 2, 3, 4) виключають помилки ручного (рис. 1) пошуку. По полю чи лісу достатньо розкидати всього декілька мін, щоб перетворити родючу землю у за-недбані чагарники.

Короткий опис та основи принципу роботи з широкозахватним металошукачем по рис. 4-5.

Міношукач МШШ з трьома рамочними індукторами, призначений для пошуку мін, нерозірваних боєприпасів, металевих предметів. МШШ має три колеса, одно з яких є провідним. За допомогою ланцюгової передачі воно з'єднано з реверсним електродвигуном, який управляється контролером швидкості. Відповідні команди поступають з системи управління, пульт якої знаходиться на ручці візка. Оператор рухається на відстані більш 4 метрів від зони пошуку. Кожний з трьох індукторів має свою площину пошуку, відповідну рельєфу поверхні. При виявленні аномалії на контролер управління двигуном поступає сигнал «стоп небезпека». Команда «вперед» блокується тригером і МШШ зупиняється. Після цього оператор починає розбиратися у ситуації. Він може відкотити міношукач назад і прийняти подальше рішення, що відповідає рівню виявленої небезпеки. Далі оператор виконує дії по фіксації небезпечного місця, його детального обстеження, оповіщення саперів та його об'їзду. Для об'їзду виявленої небезпечної зони оператор за допомогою ручного металошукача вивчає 5 – 6 метрів для подальшого руху. Подробиці вивчення ситуації викладені в окремій інструкції. Тільки після відкату і розблокування команди «стоп небезпека» відновлюється можливе включення команди «вперед». Після чого продовжується широкозахватний пошук зони можливого залягання мін. Задля визначенні контурів прихованого металу (міни) використовується пінтоїтер – вузько-направлений індуктор, щуп сапера, мінірадар та ін.

Порівняно з іншими принципами виявлення металів, схема МШШ забезпечує безпеку оператору, який віддалений від зони пошуку на 4 – 5 метрів.

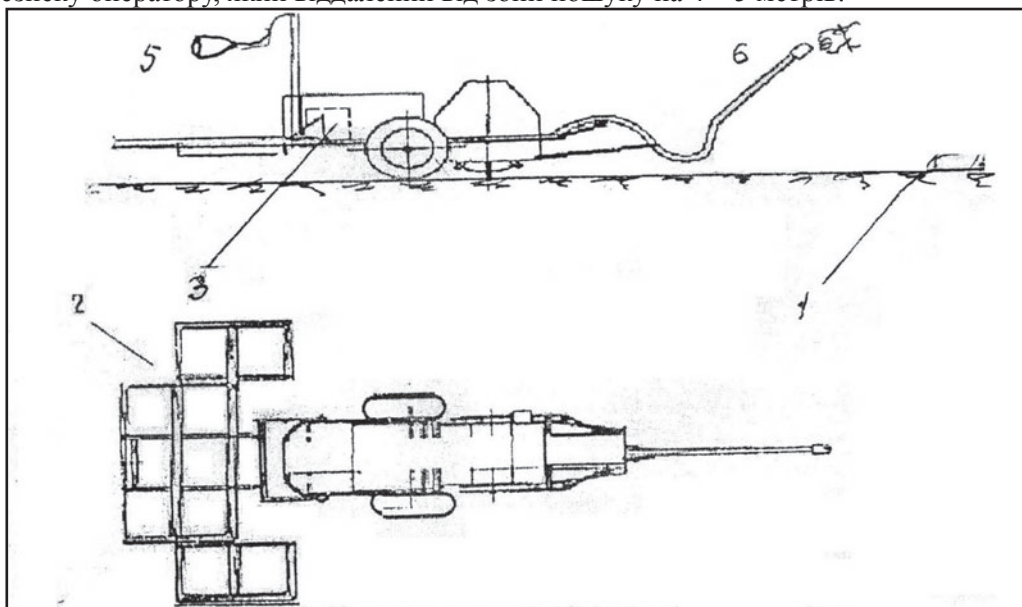


Рис. 5. Метало-(міно) шукач широкозахватний напівавтоматичний (МШШ-01):
1 – оператор; 2 – система рамок металошукача; 3 – ящик з акумулятором та конверто-
ром 12/220 V; 4 – провідне колесо з електродвигуном; 5 – освітлювач та відеокамера;
6 – пульт управління

26. ОЦІНКА ЯКОСТІ БРОНЕПЛАСТИН ЗА ДОПОМОГОЮ РЕНТГЕНТЕЛЕВІЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ

Відомі випадки пошкодження бронеплит під час бойових дій, що супроводжуються пораненням бійців через неякісні захисні пластини. Ефективність засобів захисту потребують рентгенівського контролю їх якості. Крім робітників інституту в іспитах брали участь Кирило Бєбко та Ігор Молодан – ініціатори журналістського розслідування. Рентгенконтроль бронеплит проводився за допомогою рентгентелевізійної системи РТВ-4. Ця портативна рентгентелевізійна система завжди до послуг МОУ (суцільність, витончення металу, заповнення об'ємів вибухових речовин та інш.).

Система РТВ-4 дозволяє зазирнути всередину бронеплит, визначити щільність використаного матеріалу, реальну площу броні. На моніторі комп'ютера РТВ-4 відображується інформація, яку неможливо отримати іншим шляхом, включно контрольним обстрілом. Рентген-телевізійного контролю зазнали 23 керамічні та металічні бронеплити американських, ізраїльських, українських, польських, німецьких та китайських виробників. Результати були неочікуваними та навіть шокуючими.



Рис. 1. Зовнішній вигляд пластин та система РТ контролю їх якості в ІЕЗ ім.Є.О.Патона

Рис. 2. Зовнішній вигляд (ліворуч) бронепластини та РТК цифрове її зображення (праворуч)

Зазначена фактична площа плит (ФП) та корисна площа захисного елемента (ЗЕ), що запаєні всередині. Ці параметри у різних виробників суттєво відрізняються. Чим темніше зображення, тим щільність середовища вище. Крім того, на знімках видно стиковальні зазори елементів плит, тріщини, пустоти та виробничий брак.

Найбільш шокуючою плитою виявилась пластина, яку приніс один з бійців. Вона складалася з двох частин. Те, що видно у центрі (рис. 2) – кусок металу (перевірено магнітом). Фактично, корисна площа захисту складала лише 1,7 дм², тоді як вага броне-

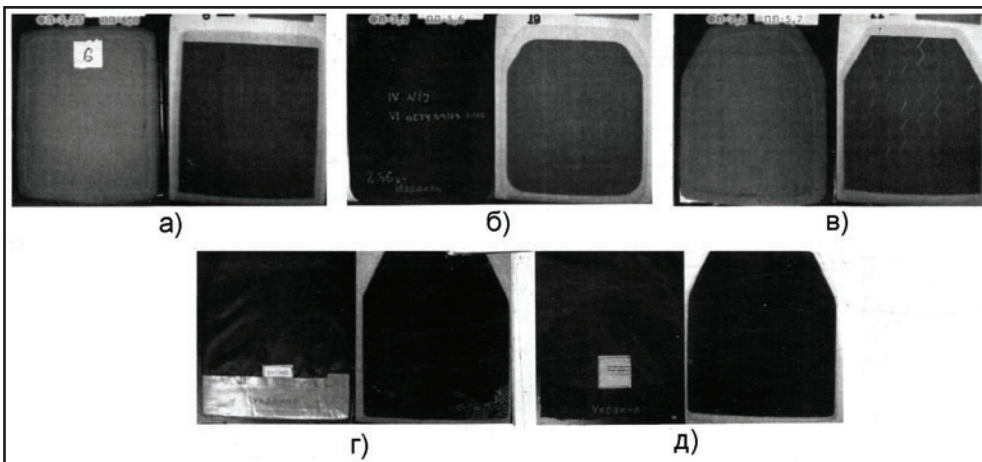


Рис. 3. Приклади РТК-зображень бронепластин із зменшеною порівняно з оголошеною площею захисту: а) і в) виробляються в Китаї, б) - в Ізраїлі, г) і д) в Україні

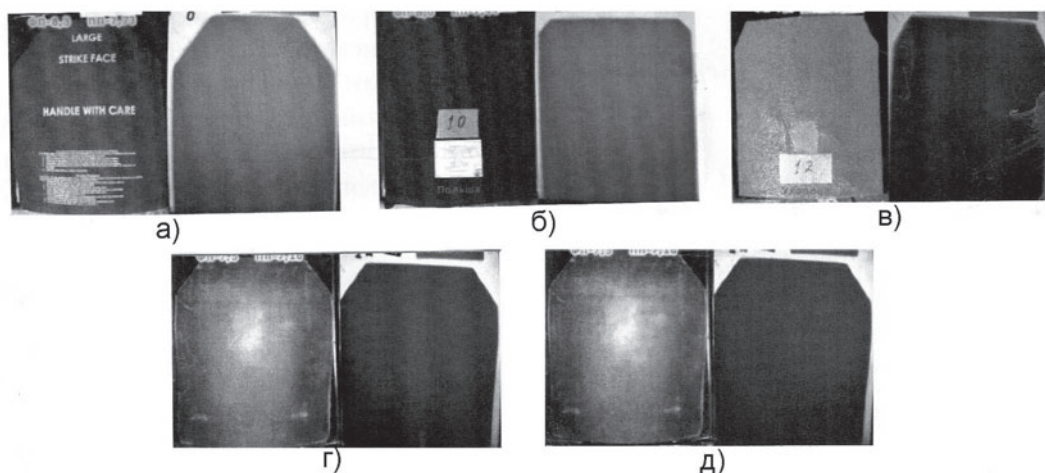


Рис. 4. РТК-зображення бронепластин, які відповідають замовленим параметрам, де виробниками є: а) США, б) Польща, в) Україна, г) Німеччина, д) Ізраїль



Рис. 5. РТК-зображення руйнувань бронепластин після контрольного відстрілу, де:
а) набірна пластина з чотирикутних сегментів,
б) набірна пластина з шестикутних сегментах

плити відрізнялась від норми тільки на 10 г. Складається враження, що метал дивної форми у центрі просто для ваги, а навколо нього рихла маса без будь-якого захисту.

Часто виробники оголошують більший розмір, а реальна площа захисту менша на 10-25%. Такі плити були виявлені як у китайських, так і у інших зразках. У МОУ немає процедур перевірки фак-

тичних захисних розмірів плит.

Плити лише відстрілюються у лабораторіях з відстані не ближче 7 см до краю, тобто відстрілюється тільки центральна частина. По периметру 5-6 см від краю плити ніяк та ніким не контролюється. У цій зоні ніяких перевірок не передбачено!

Наступною проблемою, котру виявили, є великі зазори між керамічними пластинами деяких плит та їх неакуратне склеювання. Виявлені на рентгені зазори в деяких місцях сягали 3 мм, що є забагато для кулі калібру 5,45 мм. Такі стики куля проб'є навиліт, якщо туди потрапить. До того ж, самі пластини, при потраплянні кулі у центр можуть через зміщення елементів створювати критичні рани. Такі проблеми були виявлені у виробників кераміки; їх теж добре видно на рентгензображеннях.

27. МОНІТОРИНГ СТАНУ ЗРУЙНОВАНИХ СПОРУД, ОЦІНКА ШКОДИ ТА ПОШУКУ ПОСТРАЖДАЛИХ ПІД РУІНАМИ

В Україні є велика кількість важко доступних відповідальних об'єктів, що потребують регулярного моніторингу, оцінка реального фізичного стану яких має велике значення для безпеки навколишнього середовища (наприклад, магістральні трубопроводи, авіаційна техніка, морський, залізничний та автотранспорт, турбіни тощо). Їх моніторинг потрібен для запобігання критичних наслідків.

Так само вкрай важливим є ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій, що виникають в останні роки. Ці ситуації не тільки наносять величезні збитки державі, а і при-

зводять до численної загибелі людей. Прикладом цього є останні події війни, усунення наслідків якої потребує оперативного залучення великої кількості фахівців та відповідного обладнання. Від того, наскільки швидко та оперативно надаватиметься допомога особам, які зазнали впливу небезпечних факторів надзвичайних ситуацій, наскільки своєчасно і професійно спрацюють аварійно-рятувальні підрозділи під час ліквідації бомбардування, природних катастроф, землетрусів та інших стихійних лих, залежить здоров'я і життя людей. Тому розроблений в ІЕЗ ім.Є.О.Патона прилад (рис. 1) призначений для здійснення пошуково-рятувальних робіт за допомогою різноманітного устаткування, діагностичних пристроїв. Вони використовуються в тих місцях, до яких людині дістатись вкрай важко – при обвалах будівель, техногенних катастрофах.

Рухомий прилад для моніторингу стану зруйнованих споруд, фіксації об'єму пошкоджень та пошуку постраждалих містить рухому платформу, обладнану напрямними колесами. На платформі встановлені моніторингові засоби – пошукові, дефектоскопічні, оцінювальні та трансляційні, що мають гнучкі кріплення до платформи. Колеса встановлені з можливістю вільного пересування сталеву смугою телескопічної штанги. Платформа оснащена широкозахватними пристроями. В залежності від цілей дослідження пристрій може бути обладнаний відеокамерою, мікрофоном, лазерним вимірювачем відстані та лінійних розмірів, освітлювачем, тепловізійним, магнітометричним, газоаналізатором, безконтактним ультразвуковим електромагнітно-акустичним перетворювачем та радіаційним дозиметром, засобами трансляції інформації.

Рухома платформа з пристроями має можливість пересування над та всередині досліджуваного об'єкта, здійснення широкомасштабного моніторингу ступеню руйнувань та виявлення постраждалих (Укр. пат. по заявці № 202302286).

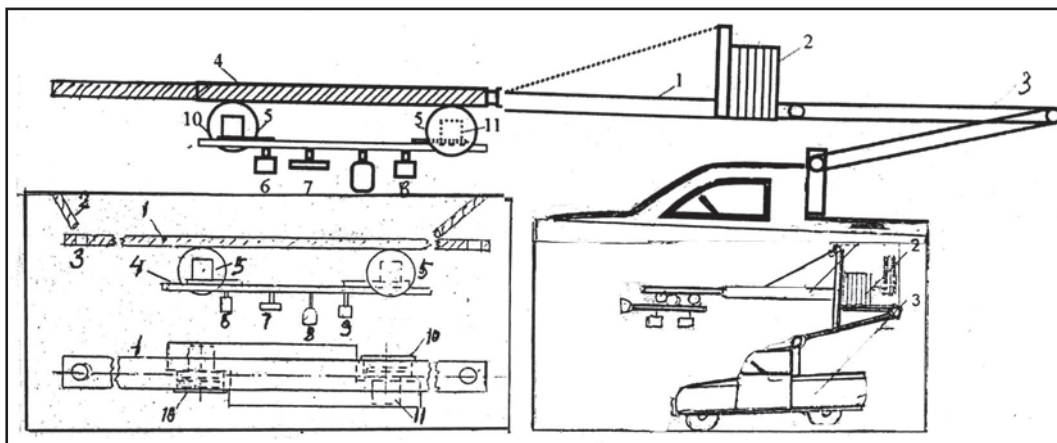


Рис. 1. Прилад для моніторингу стану зруйнованих споруд з пошуку постраждалих з платформою та двома здвоєними магнітними колесами на сталій смугі (куточку) на тросах (мотузках): 1 – сталевий смуга; 2 – трос (цеп, мотузка); 3 – кріплення троса; 4 – платформа з приладами; 5 – здвоєне магнітне колесо; 6 – лазерний вимірювач; 7 – тепловізор; 8 – освітлювач; 9 – газовий аналізатор; 10 – зовнішні шайби магнітних коліс; 11 – електродвигун

Рис. 2. Пошуковий прилад з дослідними пристроями на телескопічній штанзі для зовнішнього та внутрішнього обстеження завалів пошкоджених споруд:

1 – телескопічна штанга з освітлювачем, відеокамерою, тепловізором та ін.;
2 – місце оператора;
3 – автопідйомник

28. ЗМЕНШЕННЯ УРАЖЕНЬ БОЙОВИХ ДРОНІВ З ІМІТАЦІЄЮ ЇХ УРАЖЕННЯ

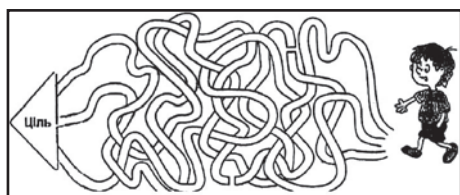


Рис. 1. Три приклади хаотичного руху до цілі

1). У такому режимі польоту дрон переходить без команд з землі від пілота. Це робить автоматично блок захисту бортового комп'ютера, який слідкує за інформацією, що поступає з відеокамер, бортових оптоелектронних датчиків на його фюзеляжі. Перехід на хаотичний лабіринтовий рух починається з вистрілу червоно-жовтого піропатрона. Починаються горизонтальні й вертикальні рухи, котрі супроводжуються димовим захистом, що імітує ураження і ускладнює попадання ракети в дрон. Димова шашка, прискорення та червоний колір від піропатрону дезорієнтує стрілка. «Попадання» у дрон викликає захоплення та велике задоволення стрілка. При цьому він розслабляється та намагається побачити місце падіння дрона, тобто є час прискорити та змінити його трасу, якщо дрон буде забезпечений блоком захисних дій, що пропонуються. Задоволення мисливця пропаде як тільки він побачить косе падіння через виключення частини електродвигунів дрону, який продовжує свій шлях на низькій висоті. Після імітації попадання (падіння по косої з димовим та червоним піротехнічним слідом) дрон подовжує рух до заданої цілі по хаотичній трасі (рис. 1).



Рис. 2. Дрон M3X D16 Pro, оснащений великим набором датчиків, відеокамерою, бортовим комп'ютером та ін.



Рис. 3



Рис. 4.

На рис. 3 показана блок-схема взаємодії вузлів дрона, а на рис. 4 – алгоритм його керування дронам.

Стрілок спостерігає за «падінням» та втрачає час для повторних пострілів, які могли би бути здійснені як із землі, так і до-

даткового літального апарату системи ППО. Аналогічний спосіб захисту діє і у випадку атаки з іншого літального апарату. Реалізація запропонованого алгоритму допоможе не тільки виконувати бойові завдання за лінією ППО, а й повертати дрони на базу по іншій трасі, де немає стрілка, координати якого зафіксовані. Укр. патент № по заявці 2023 00931.

29. ПРОПОЗИЦІЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПОШУКУ МІННИХ ПОЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗЙОМКИ З БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (БПЛА)

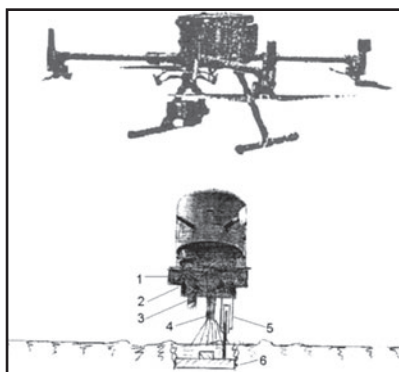


Рис. 1. Пошуковий дрон з блоком керування (1), індуктором (2), відеокамерою (3) тепловізором, фарбовідмітчиком (4); телескопічним щупом (5) над міною (6)

Оригінальні пропозиції в ІЕЗ ім.С.О.Патона запропоновані задля ведення повітряної розвідки місць розташування мін, зокрема, на великих сільськогосподарських угіддях. За допомогою, щонайменше, одного безпілотного літального апарату (дрона), який містить систему відео спостереження, тепловізор, портативні прилади фіксації мін, блок зв'язку з пунктом керування польотом та ємність з позначальною фарбою. Отриману розвідувальну інформацію передають з борту дрона на командний пункт (патент України UA 148677U, пат. по заявці 2023 00932.)

На першому етапі повітряної розвідки виявляють загальні порівняльні картини оптичних та теплових аномалій поверхні землі в місцях ймовірних закладок мін. Перший етап – проліт на великій висоті над зоною розвідки та порівняльне по кадрове фотографування з широким охоптом топографічної картини місцевості. У разі виявлення аномалій теплової картини і топографії слідів від вірогідної діяльності мінувальників, здійснюють другий етап розвідки та кадрове тепловізійне та оптичне дискретне фотографування цих зон на низькій висоті з більш високою роздільною здатністю приладів та у збільшених масштабах.

Після цього за допомогою програмних блоків комп'ютера порівнюють оптичні та тепловізійні кадри, відзняті на різних висотах і під різними ракурсами, та роблять остаточний висновок щодо місця закладання мін. Ці місця позначають люмінесцентною фарбою, у яку додають речовину, яка відлякує тварин. У разі невпевненості в результатах отриманої інформації перед фіксацією координат виявленого місця ймовірного закладання мін з командного пункту здійснюють його вивчення на наявність металу за допомогою бортового портативного тепловізора, індуктора, радара, щупа. Команду на фіксацію координат та розмітки фарбою дає керуючий оператор. Розмінування роблять сапери по координатах від дрона. Дотримання безпечності та високої результативності пошуку значно більш важливе витрат. Ця методика дозволяє знаходити мінні поля та координати окремих мін, уточнює контур металу під ґрунтом за допомогою пінпойтера та щупа.

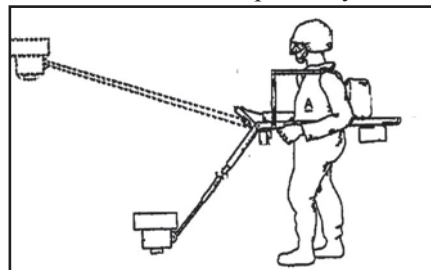


Рис. 2. Напівавтоматичний пошук мін



Рис. 3. Пінпойтер для визначення контурів металу

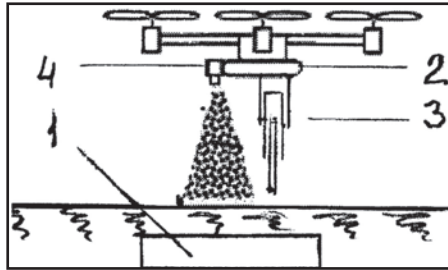


Рис. 4. Квадрокоптер (дрон) над міною (1) з індуктором та пінпойтером (2), телескопічним щупом (3) та фарбовідмітником (4)

30. НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

«МОНІТОРИНГ СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ (ВВЕДЕННЯ В ПРОФЕСІЮ)»

Видавництво НВФ «Інтерсервіс», форма А4, 962 кольорових ілюстрацій

Перша частина книги присвячена основам дефектоскопії, вона цікава починаючим фахівцям, а інші – являють собою навчальні плакати та оригінальні статті, запозичені з провідних професійних журналів США, Англії, Німеччини та інших країн.



Представлено багато матеріалів за новими технологіями НК. В останні роки почав широко застосовуватися рухомий рентгентелевізійний контроль (РТК). Дефектоскопісти України навчилися виготовляти недорогі, портативні, дистанційно керовані РТК-перетворювачі, за допомогою яких можливо виконувати моніторинг технічного стану будь-яких об'єктів,

виготовлених з будь-яких матеріалів. Портативні РТК-перетворювачі можуть бути створені на основі мініатюрних ПЗЗ-матриць або на основі флюороскопічних екранів та оптоелектроніки високої роздільної здатності, яка використовується в астрономії. Обидва рішення дозволяють виконувати НК у реальному часі без затратних матеріалів. Такі РТК-технології з часом зменшать застосування УЗК і повністю витіснять плівкову радіографію. У книзі описані оригінальні рішення з магнітного, капілярного та інших методів неруйнівного контролю.

Автор ділиться багаторічним досвідом Інституту електрозварювання ім.С.О.Патона, інших організацій НАН України, авторів доповідей на наукових конференціях Українського товариства неруйнівного контролю та технічної діагностики.

У книзі представлені основи неруйнівного контролю якості металоконструкцій, газо- та нафтопроводів, елементів залізничного транспорту, продукції машинобудування, посудин високого тиску, композиційних матеріалів, а також 120 технологій та навчальних плакатів з моніторингу стану конструкцій.

Під керівництвом проф. В.О.Троїцького, завідувача відділу ІЕЗ ім.С.О.Патона, виконано чимало робіт з оцінки якості різних споруд, розроблено багато методик радіаційних та інших методів оцінки стану матеріалів.

Приймаються заявки на замовлення книги:
ndt@paton.kiev.ua, larimart@ukr.net, usndt@ukr.net



ІЕЗ ім. Е. О. Патона НАН України (відділ № 4) виконує роботи по моніторингу технічного стану об'єктів (металоконструкцій, трубопроводів, бронжилетів, резервуарів для зберігання палива, прокату та заготовок для виготовлення деталей військової техніки) з застосуванням ультразвукового, магнітопорошкового, рентгентелевізійного, капілярного методів контролю та надає послуги з ремонту зварних з'єднань, дефектоскопічної та зварної техніки різного призначення.
e-mail: ndt@paton.kiev.ua, usndt@ukr.net

31. УКРАЇНСЬКЕ ТОВАРИСТВО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ (УТ НКТД)



УТ НКТД є членом EFNDT та ICNDT

Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики (УТ НКТД) – творча громадська організація, яка об'єднує науковців, інженерів та робітників різних організацій, підприємств та лабораторій, професійна діяльність яких пов'язана з неруйнівним контролем та технічною діагностикою. Товариство зареєстроване в Міністерстві юстиції України як всеукраїнське громадське об'єднання.

Головними напрямками діяльності є:

- допомога підприємствам і організаціям у виконанні НКТД;
- допомога у створенні лабораторій та служб з НКТД;
- сертифікація персоналу, що працює в галузі НКТД;
- сприяння в гармонізації нормативно-технічної документації України з європейською і міжнародною;
- організація конференцій, семінарів та виставок;
- консультування та керівництво проектами в галузі НКТД;
- сприяння міжнародним контактам спеціалістів;
- видання книг, посібників, журналів, з питань НКТД.

В 1998 році УТ НКТД став співзасновником Європейської федерації з неруйнівного контролю (EFNDT), до якої входять Товариства з неруйнівного контролю 27 країн Європи. УТ НКТД є членом Міжнародного комітету з неруйнівного контролю (ICNDT). Укладено ряд угод про двостороннє співробітництво з аналогічними національними товариствами країн Європи та світу.

Запрошуємо організації та підприємства України, діяльність яких пов'язана зі сферою неруйнівного контролю та технічної діагностики вступити в Товариство.



32. ЦЕНТР СЕРТИФІКАЦІЇ ПРИ УКРАЇНСЬКОМУ ТОВАРИСТВІ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ



Співпрацює з міжнародними організаціями: EFNDT, ICNDT, ISO, CEN, BINDT, IAEA та ін., бере участь в організації та проведенні міжнародних науково-технічних проектів, надає допомогу у проведенні наукових семінарів та конференцій з актуальних нових напрямків у галузі НК. Підготовка персоналу в ЦС ведеться у відповідності до європейського (EN ISO 9712) та американського (SNT-TC-1A) стандартів за наступними методами НК: ультразвуковий (УТ), радіаційний (РТ), магнітний (МТ), каплярний (КТ), вихрострумний (ЕТ), візуальний (ВТ), контроль герметичності (ЛТ), акустико-емісійний (АТ), тепловий (ТТ), вібродіагностичний (ВА) на 1, 2 та 3-й рівні кваліфікації. Керівники ЦС є членами німецького, американського та інших товариств з НК. ЦС при УТ НКТД акредитований Національним агентством по акредитації України (НААУ) у відповідності з вимогами стандарту ISO/IEC 17024. Сертифікати компетентності, видані ЦС, визнаються за кордоном. Фахівці, що пройшли навчання, атестацію та сертифікацію в ЦС по УТ НКТД забезпечуються учбово-методичною літературою з різних методів неруйнівного контролю.

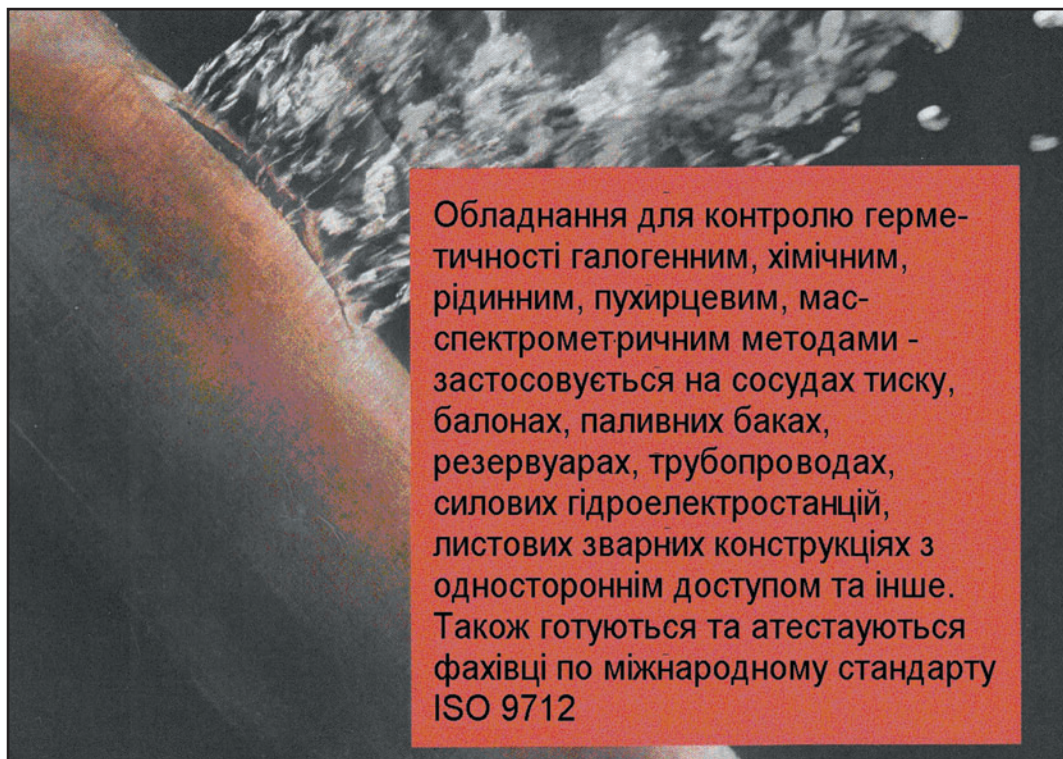
УТ НКТД знаходиться в ІЕЗ ім.Є.О.Патона за адресою: вул. К.Малевича, 23, корпус 6, Київ;

Поштова адреса: Київ 03038, а/с 20, тел.: (044) 205-22-15, 200-81-40, 205-22-49;
e-mail: usndt@ukr.net; ndt@paton.kiev.ua УТ НКТД є членом EFNDT та ICNDT.

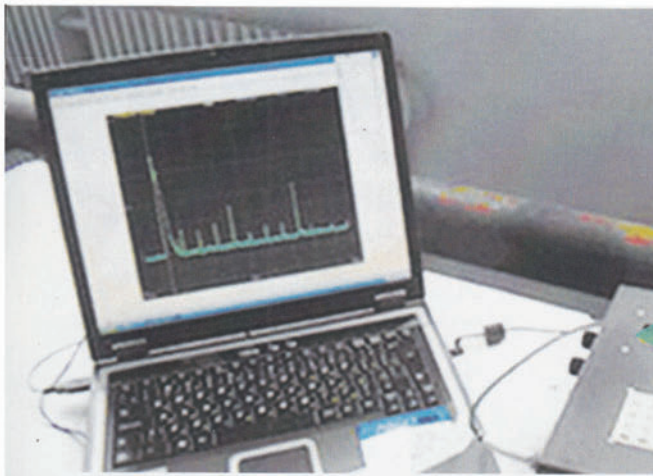
33. ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО ВІЗУАЛЬНОГО ТА МАГНІТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЮ ПРОТЯЖНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ



34. ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ВИРОБІВ ТА СПОРУД



35. СИСТЕМА ІЕЗ ім.С.О.Патона ДЛЯ ШВИДКОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРИХОВАНИХ ТРУБОПРОВОДІВ НАПРАВЛЕНИМИ НИЗЬКОЧАСТОТНИМИ УЗ-ХВИЛЯМИ



Система швидкої оцінки якості різних трубопроводів направленими низькочастотними УЗ хвилями в процесі виготовлення та експлуатації

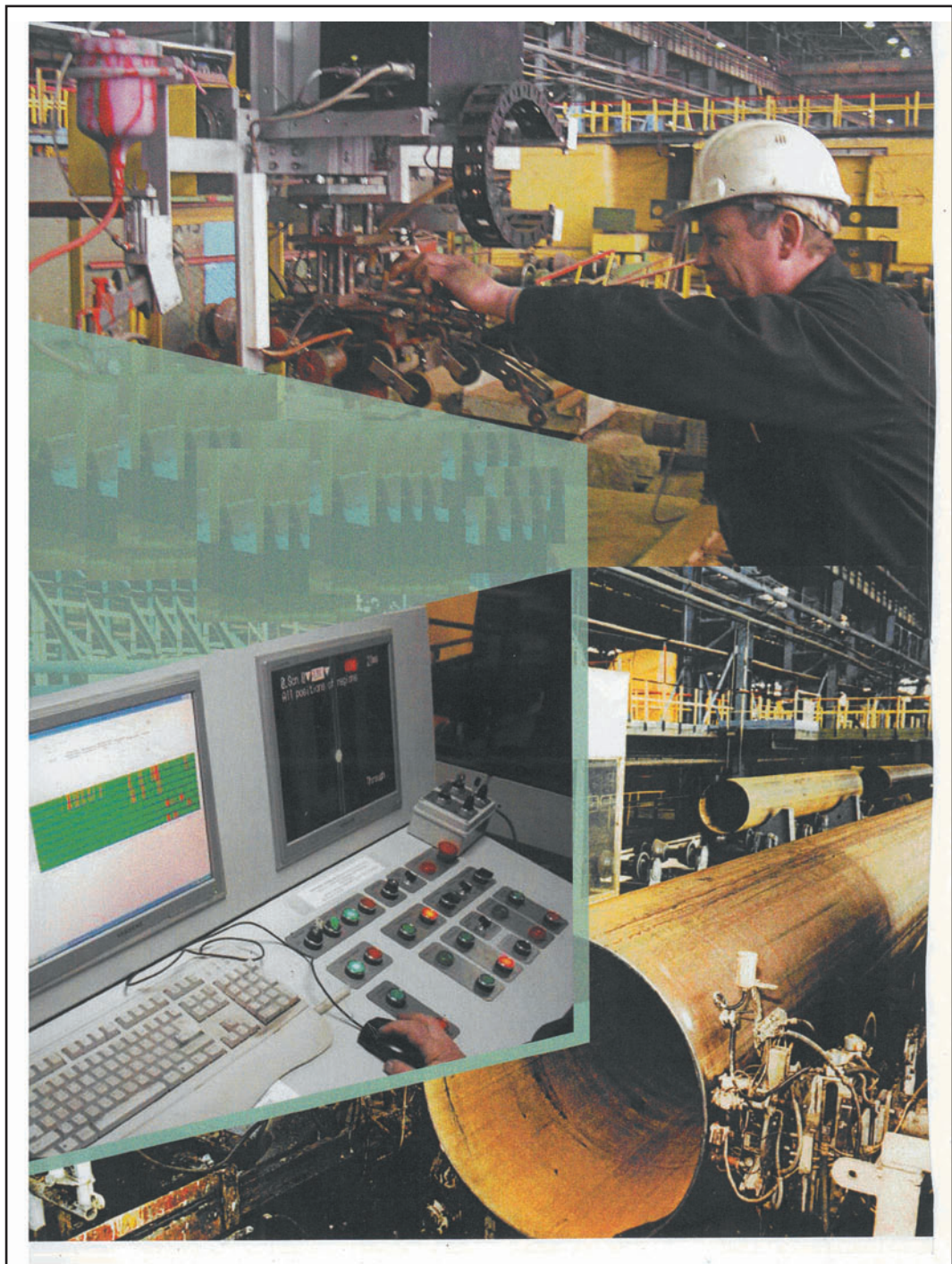


На поверхні технологічного трубопроводу встановлюється кільцева НЧ-антена, яка містить п'єзоперетворювач. Кільце антени не переміщується вздовж труби в процесі контролю. Антена посилає спрямовані УЗ хвилі крутильної моди на відстань до 150 м. Інформація про відбиті сигнали виводиться на екран ноутбука у вигляді розгортки А-scan.



Приклад антени на важкодоступних технологічних трубопроводах з Т-подібною поверхнею до +800С, діаметром до 330 мм та вільні від транспортованого продукту. Прилади працюють на частотах 16, 36 кГц, а діаметри труб, що контролюються, від 54 до 330 мм. Площа корозійного ураження, що мінімально виявляється, 5 - 10 % від площі поперечного перетину труби.

**36. ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗДІЛЬНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ
ДЕФЕКТІВ ЗВАРНОГО ШВА І ЗОНИ ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ ПРИ
АВТОМАТИЗОВАНОМУ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ КОНТРОЛІ**



37. ПЕРЕСУВНІ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ВІЗУАЛЬНО-ОПТИЧНОГО КОНТРОЛЮ (ВОК) ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ БУДЬ-ЯКИХ МАТЕРІАЛІВ

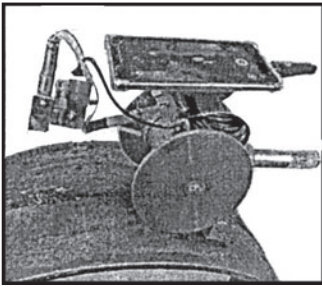


Рис. 1

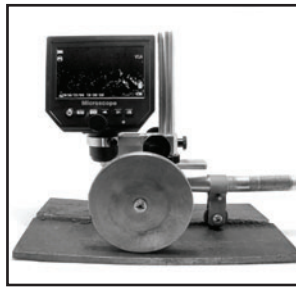


Рис. 2

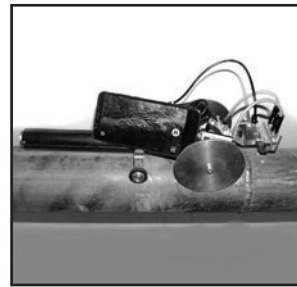


Рис. 3

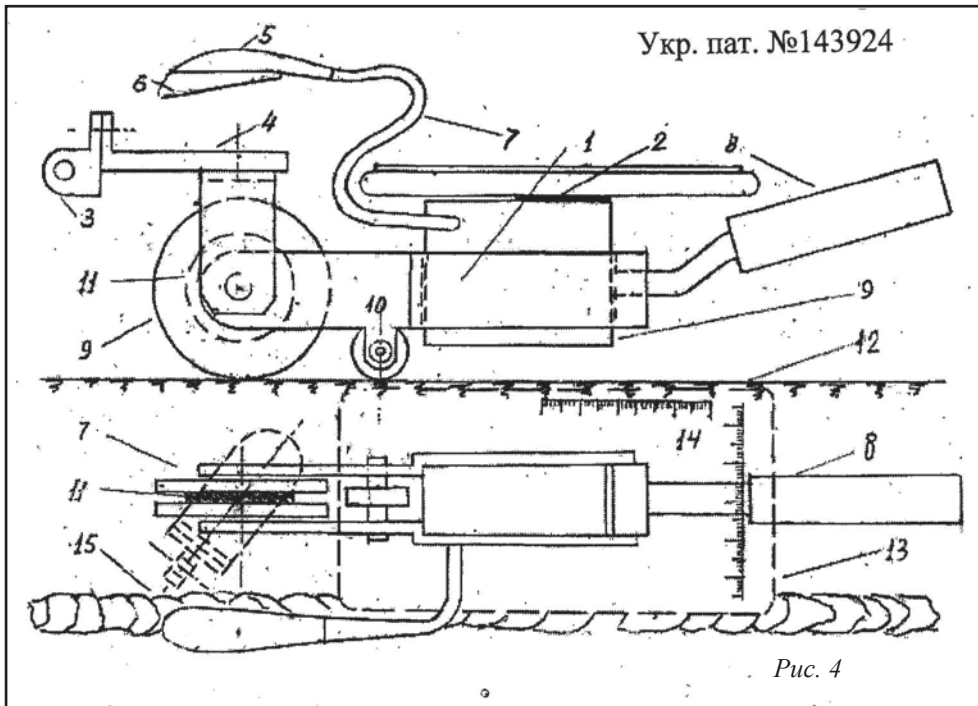
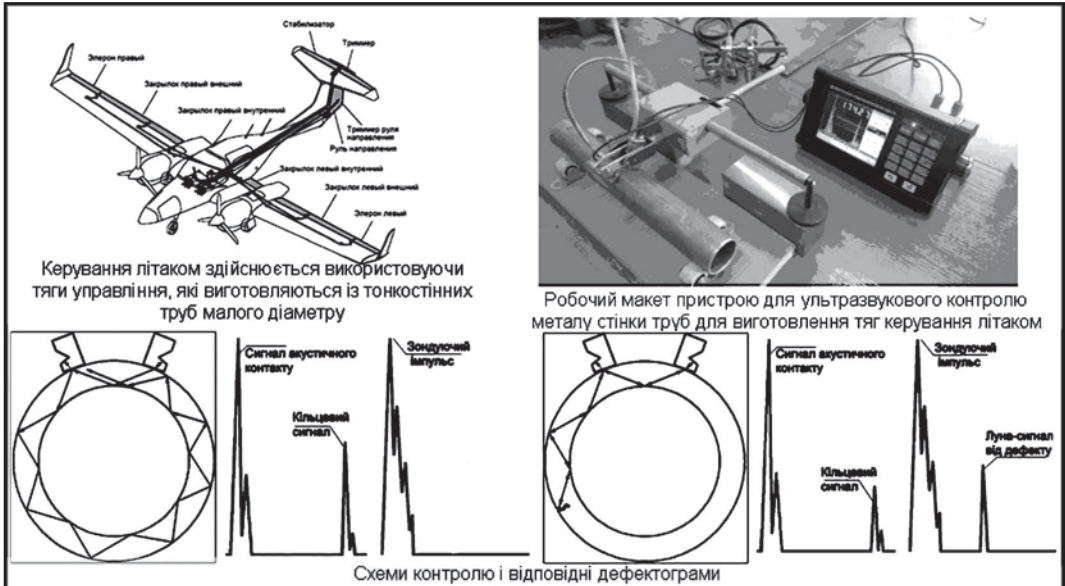


Рис. 4

Рухомий опто-електронний пристрій оцінювання якості поверхонь будь-яких матеріалів (рис. 4) містить: знімний монітор 1, встановлений на магнітній пластині 2, відеокамеру на кронштейні 3, 4, підсвічувані, лазерні вказівники, вимірювачі відстані та засоби безпроводного зв'язку з монітором 8, в порожнині якої розміщений акумулятор та зарядні пристрої. Послідовно розташовані ведуче 9 та ведене 10 магнітні колеса. Ведуче колесо складається з двох дисків та постійного магніту 11. Діаметр ведучого колеса 30 – 60 мм. Кронштейни з відеокамерою можуть розвертатися в двох площинах на 360°. Пристрій обладнаний підсвічувачем 5 з блендом 6, котрий закріплений на гнучкому тримачі 7. Пристрій укомплектований переставними феромагнітними напрямними або тросом, по яким він переміщується при дослідженні неферомагнітних поверхонь. На кресленні позицією 13 позначені контури планшета (монітора). Цей пристрій є компактним та зручним у маніпулюванні. Позицією 14 позначені масштабні лінійки, які у збільшеному вигляді висвічуються на екрані монітора; позицією 15 позначений зварювальний шов. Пристрої по рис. 1 – 3 застосовувалися для запису якості поверхні мостів, трубної конструкції «Батьківщина-мати», резервуарів арктичної станції «Академік Вернадський» та ін.

38. ТЕХНОЛОГІЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗВАРНИХ ВИРОБІВ ТА ОСНОВНОГО МЕТАЛУ АВІАЦІЙНИХ ТРУБ МАЛОГО ДІАМЕТРА

На замовлення ДП «АНТОНОВ» в ІЕЗ ім. Є.О. Патона розроблена технологія ультразвукового контролю якості металу труб $\varnothing 10\div 56$ мм з товщиною стінки $1\div 3$ мм для виготовлення тяг керування літаком з метою виявлення тріщин, розшарувань, закатів та ін.



39. ВИСОКОЧУТЛИВІ РЕНТГЕНТЕЛЕВІЗІЙНІ ЛІНІЙНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Укр. пат. № 111974

Можливість створення недорогих високочутливих радіоскопічних протяжних перетворювачів, які дозволяють замінити в авіації та інших галузях промисловості дорогі плоско панельні перетворювачі, що випускаються усіма провідними фірмами (Agfa, Fudje та ін.) для заміни плівкової дефектоскопії. Твердотільний РТК-сенсор по гвинту переміщується вздовж поверхні. Він має бездротову систему дистанційного керування через радіоканал на основі модулів:



Лінійний перетворювач в порівнянні з великоформатними плоскопанельними детекторами дозволив у декілька разів знизити вартість РТК і в 5 разів підвищити роздільну здатність. Суттєво знизить вартість НК відповідальних об'єктів.

Наукове видання

Троїцький В.О.

Борис Патон фундатор науки з
дефектоскопії та моніторингу
конструкцій

Підписано до друку 24.06.2023

Формат 70x100/16. Друк офсетний

Гарнітура TimesNewRoman. Умов. друк. арк.: 1.9

Наклад прим.:50. Замовлення № 2406/23

Видавець: ТОВ «НВП «Інтерсервіс»

м. Київ, вул. Бориспільська, 9

Свідоцтво: серія ДК № 3534 від 24.07.2009 р.

Виготовлювач: СПД Андрієвська Л. В.

м. Київ, вул. Бориспільська, 9

Свідоцтво: серія В03 № 919546 від 19.09.2004 р.

ЕПІЗОДИ ЖИТТЯ І ТВОРЧОСТІ



2002 р.



Установчі збори ANDTI, м. Брешія, Італія
Баннер Академії тримають В.В.Ключев, Д.Нардоні, я і Рай,
2008 р.



Перша моя наукова
нагорода, 1964 р.



Члени Правління Українського товариства НКТД, 2006 р.

описані у книзі
«Сварочная электротехника и дефектоскопия»
В.О.Троїцький

Київ, Інтерсервіс, 2020 – 252 с.

X-ray mini технологія

на базі портативного напівпровідникового перетворювача



1 випромінювач

2 перетворювач

4 цифрове зображення

Розмір робочого поля

25x34 мм

Вага перетворювача та посилювача

0,1 та 0,3 кг

Робоча напруга

до 70 кВ

Блок посилювача має USB вихід



Контроль качества газо- и нефтепроводов; элементов и конструкций авиационного, железнодорожного и автомобильного транспорта; продукции химического и энергетического машиностроения; сварных и паяных соединений; сосудов высокого давления; композитных материалов и в таможенном деле.

**ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ
ПОРТАТИВНЫЕ
РЕНТГЕНТЕЛЕВИЗИОННЫЕ
СИСТЕМЫ ВМЕСТО ПЛЕНОЧНОЙ
РЕНТГЕНОГРАФИИ**

