

3 ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ В УКРАЇНІ

У наш час відбуваються істотні зміни в управлінні експлуатацією машин, обладнання, конструкцій та споруд. Вчені і розробники, які спеціалізуються в області створення високих технологій, приступили до практичної реалізації в промисловості проєктів, що визначають нову, більш досконалу технологію контролю, коли, знаходячись на будь-якій відстані від контрольованого об'єкта, можна у будь-який момент часу знати його стан і передбачити його поведінку в майбутньому.

Початок цим процесам, підходам до вирішення інженерних завдань та їх реалізації закладено працями і діяльністю багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених. Минуло вже більше півстоліття з дня організації і початку робіт зі створення теорії, методів і засобів технічної діагностики зварних конструкцій і матеріалів у нашій країні. За цей час виконано величезний обсяг робіт, створена, по суті, нова технологія контролю стану конструкцій, розроблена і серійно випускається необхідна для цих цілей апаратура, створені відповідні організаційні структури для приведення в дію всього механізму забезпечення безпеки експлуатації конструкцій і споруд.

Роботи зі створення теорії і методів прогнозування працездатності конструкцій координувалися організованою Державним комітетом СРСР з науки і техніки в 1963 р. при Інституті електрозварювання (ІЕЗ) ім. Є.О. Патона АН України Науковою Радою «Нові процеси зварювання і зварні конструкції». У складі секції «Зварні конструкції» Наукової Ради почала функціонувати робоча група № 3 «Технічна діагностика і точність зварних конструкцій». Організував і почав дослідження і розробки по створенню і освоєнню нових діагностичних технологій академік Б.Є. Патон (рис. 1).

На початку своєї діяльності робоча група зосередила основну увагу на традиційному питанні технології виробництва зварних конструкцій – забезпеченні їх точності. Створення такої групи дик-



Рис. 1. Фахівці на чолі з академіком Б.Є. Патоном знайомляться з впровадженням систем АЕ моніторингу на Одеському припортовому заводі

тувалося необхідністю координації та цільового фінансування науково-дослідних і конструкторських робіт вчених і фахівців зі створення способів обліку шкідливого впливу наслідків зварювання на геометрію конструкцій. Особливо великі неприємності зварювальні деформації доставляли при виготовленні великогабаритних листових конструкцій, зварних станин металорізальних верстатів, які почали приходити на зміну литим, при виготовленні рамних конструкцій, які тримають високоточні великогабаритні елементи (наприклад, дзеркала радіотелескопів).

Необхідно було проводити більш глибоке цілеспрямоване вивчення цих процесів з урахуванням розпочатого бурхливого розвитку електронно-обчислювальної техніки.

Вивчення механізму явищ, пов'язаних з процесом зварювання, і таких, що призводять до втрати конструкцією основної (розрахункової) форми рівноваги, дозволило отримати важливі теоретичні результати і засновані на них методи та засоби боротьби з викривленням зварних конструкцій. Не менш важливим досягненням цих досліджень стали роботи, що з'явилися спочатку як супутні основним, а потім стали самостійними – роботи з оцінки стану матеріалу конструкції. Останні базувалися на обчислювальній техніці, що дозволило зовсім по-новому поглянути на одну з найважливіших проблем техніки – проблему забезпечення безпеки експлуатації зварних конструкцій.

Результати перших досліджень показали, наскільки складна ця проблема. Назріла необхідність виділення цього напрямку в самостійне з тим, щоб можна було сконцентрувати зусилля вчених і розробників на вирішенні цілої низки проблем, що виникли при більш ретельному аналізі. Потрібно було скоротити час наукового пошуку і отримати більш якісні результати. В 1979 р. створюється нова секція в складі Наукової Ради – «Діагностика надійності зварних конструкцій», в роботі якої взяли участь великі академічні та галузеві науково-дослідні інститути, вузи та промислові підприємства, в діяльності яких істотне місце займали питання забезпечення безпеки експлуатації конструкцій і споруд; підприємства і організації, що випускають або причетні до випуску конструкцій, аварії на яких могли призвести до серйозних екологічних наслідків. Це, в першу чергу, Інститут атомної енергії ім. І.В. Курчатова (ІАЕ), ЦНДІМАШ, КБ «Південне», ЦНДІ ім. акад. О.М. Крилова, ЦНДІ конструкційних матеріалів «Прометей», Центральний аерогідродинамічний інститут (ЦАГІ), ЦНДІМАШ, Хабаровська філія ВНДІФТРВ Держстандарту СРСР, НДІ технології машинобудування, ЦНДІ Матеріалів, НДІ «Квант», Чорноморський суднобудівний завод, Севмаш, ВНДІНК, які представили майже всі



Рис. 2. Голова Державного комітету з науки і техніки СРСР академік В.О. Кирилін знайомиться з роботами ІЕЗ ім. Є.О. Патона в області точності і технічної діагностики зварних конструкцій, 1977 р.

основні галузі народного господарства країни, а також МВТУ ім. Н.Е. Баумана, МІФІ, НДІ математики і механіки при Ростовському-на-Дону державному університеті.

Україну представляли як академічні, так і вищі навчальні заклади: Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного, ІЕЗ ім. Є. О. Патона, Інститут гідродинаміки, КПІ та КДУ ім. Т.Г. Шевченка (м. Київ), ХПІ і ХДУ (м. Харків).

Аналізуючи проблему оцінки стану матеріалів конструкцій, вчені звернули увагу на значні можливості методу акустичної емісії (АЕ), який інтенсивно розвивався в різних країнах як метод неруйнівного контролю. Такі організації, як Донецько-Ендовецько, Фізикал Акустик Корпорейшн, Вейв Діджитал (США), деякі фірми в Англії, Японії, Фінляндії досить активно займалися вирішенням цієї проблеми. Центральний інститут фізичних досліджень Угорської АН (м. Будапешт), Празький політехнічний інститут (Чехословаччина), Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАНУ, ІЕЗ ім. Є.О. Патона (м. Київ), Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ (м. Львів), ХФТІ (м. Харків), ІАЕ, ЦАГІ, ЦНДІТМАШ (м. Москва), ВНДІ-ФТРВ (м. Хабаровськ) також вже мали суттєві досягнення в застосуванні АЕ як засобу неруйнівного контролю. Дещо пізніше до них підключилися Інститут надтвердих матеріалів (м. Київ), Київський інститут інженерів цивільної авіації, Технологічний університет «Поділля» (м. Хмельницький).

Необхідно було створити методику і розробити таку технологію, які могли б не тільки визначати координати місць підвищеної АЕ активності, але і розшифровувати інформацію, яка несе відомості про зміни цілісності структури матеріалів, що руйнуються, навчити апаратуру прогнозувати залишковий ресурс матеріалів конструкцій. Така

функція методу і апаратури на його основі була значно складнішою за функцію визначення координат і була вирішена значно пізніше.

Активізація робіт в напрямку технічної діагностики конструкцій вимагала вживання необхідних заходів для більш чіткої їх організації та планування, для контролю ходу їх виконання. В 1983 р. в ІЕЗ ім. Є.О. Патона на базі лабораторії з технічної діагностики зварних конструкцій створюється структурний відділ того ж напрямку, а незабаром при Президії АН створюється Наукова Рада «Технічна діагностика та неруйнівний контроль», в складі якої почали працювати більше 20 інститутів і організацій. З цього моменту роботи в області технічної діагностики конструкцій, що експлуатуються, починають носити цільовий планований характер.

У 1982 р. створена робоча група при РЕВ (Рада економічної взаємодопомоги, 1947–1991 рр.) для виконання нової спільної теми «Розробка, дослідження і застосування засобів акустичної діагностики зварних конструкцій», що об'єднала зусилля фахівців з Болгарії, Угорщини, Радянського Союзу, Польщі, Румунії, Чехословаччини та Югославії. Центром робочої групи стає ІЕЗ, що вже очолив на той час роботи з цього напрямку в країні (рис. 3).

Інтенсивний розвиток робіт вимагав і більш інтенсивних обмінів результатами досліджень. З 1986 р. починають працювати Всесоюзний методологічний семінар з питань технічної діагностики, створений при Президії АН України, і міжнародна школа «Акустична емісія в діагностиці передруйнівного стану і прогнозуванні руйнування зварних конструкцій», перше засідання якої відбулося в жовтні 1986 р. у м. Варна (Болгарія) на базі комбінату контрольно-зварювальних робіт (рис. 4).

Одним з істотних досягнень методологічного семінару став прогноз розробок в області створення методів і засобів діагностики на промисловій основі. Розглядалися два методи діагностування матеріалів – на основі глибоких фундаментальних досліджень і на основі статистичних даних. В першому випадку на базі застосування методів квантової механіки руйнування, апаратура і



Рис. 3. Засідання робочої групи РЕВ з технічної діагностики. У засіданні беруть участь представники Болгарії, Угорщини, Польщі, України, Чехословаччини та Югославії (листопад, 1983 р., м. Київ)

методику її застосування могли бути створені до 2010 р. В другому – у 1995 р. Вже у 1993 р. з'явилася перша діагностична система ЕМА-1. Таким чином, досить складний механізм прогнозу все ж правильно передбачив появу серійних діагностичних систем, що працюють за другим методом.

Складність прогнозу полягала в тому, що необхідно було передбачити розвиток не тільки власне теорії діагностування, але і розвиток суміжних галузей знань і відповідної техніки, на базі яких здійснювалися розробки. Це – можливості обчислювальної техніки, здатної обробити в стислий час досить великі потоки інформації, що надходить з контрольованої поверхні виробів, і вимірювальної техніки, такої, як датчики і вимірювальні прилади, яка була б здатна надати на вхід обчислювальної машини достатню, за вимогами теорії і точності вимірювання, інформацію. Також особливої уваги потребувала і недостатня кількість фахівців в області діагностики матеріалів.

Розглядаючи цю проблему як одну зі складових частин проблеми забезпечення надійності та безпеки експлуатації конструкцій і враховуючи, що переважна більшість їх виготовляється із застосуванням зварювання, необхідно було організувати підготовку фахівців в області технічної діагностики на базі великих навчальних центрів країни. Починаючи з 1990 р., спільними зусиллями секції ТД, ІЕЗ і КПІ при ряді вузів країни, в тому числі КПІ, на базі спеціальності «Обладнання і технологія зварювального виробництва» створюється нова спеціалізація 12.05.04 «Діагностика і міцність зварних конструкцій» для підготовки фахівців в області діагностики технічного стану і прогнозування ресурсу зварних конструкцій. У 2007 р. ВАК України створює Вче-

ну раду із захисту кандидатських і докторських дисертацій за спеціальністю 05.02.10 «Діагностика матеріалів і конструкцій». З кінця 1994 р. на базі ІЕЗ успішно діють курси підготовки фахівців з технічної діагностики для осіб, які вже мають досвід з контролю та працюють в різних галузях промисловості (рис. 5). З 1998 р. ці курси почали працювати спільно з Навчально-методичним центром Держнаглядохоронпраці України (потім – Держгірпромнагляд України, з 2015 р. підпорядковується Держпраці України). Вже до жовтня 2007 р. було підготовлено 2139 фахівців, до теперішнього часу – близько 5 тисяч (рис. 5).

Більш широкому обміну думками в області розробок з технічної діагностики сприяла поява республіканського міжвідомчого збірника «Діагностика і прогнозування руйнування зварних конструкцій» (1985–1989 рр.). У 1989 р. почав видаватися періодичний шоквартальний всесоюзний науково-теоретичний журнал «Технічна діагностика та неруйнівний контроль», який з 1993 р. стає міжнародним. Журнал широко відомий як в Україні, так і за кордоном. Уже перший номер журналу був перевиданий у повному обсязі у Великобританії, що дозволило залучити до його тематики фахівців, які спілкуються англійською мовою. Журнал почали випускати бібліотеки і організації Західної Європи, США і Японії.

Значна увага приділялась і розробці обладнання для проведення досліджень в області технічної діагностики. Перший дослідний прилад для діагностики матеріалів на базі методу АЕ був розроблений у 1988 р. Це ще не була діагностична система, хоча прилад виконував досить багато діагностичних функцій. Перший чотирьохканальний прилад конструкції Угорського інституту ядерних



Рис. 4. Перша міжнародна школа з технічної діагностики (м. Варна, Болгарія, жовтень 1986 р.)



Рис. 5. Перший випуск слухачів курсів підготовки фахівців з технічної діагностики, грудень 1994 р. (А.Я. Недосека – перший ряд в центрі)

досліджень ЦІФІ з математичним забезпеченням розробки ІЕЗ ім. Є.О. Патона з'явився у 1989 р. Випробування цього приладу здійснювалися при дослідженні зародження і розвитку дефектів в процесі навантаження трубчастих елементів морських стаціонарних платформ (рис. 6).

Випробування показали високу ефективність приладу. Дефекти, що зароджувались, виявлялися на мікрорівні, коли скупчення дислокацій тільки починали утворювати область, де в подальшому мала з'явитися і привести до руйнування конструкції тріщина. Це було підтверджено при продовженні випробувань. Апаратура стала залучатись до робіт на підприємствах та в організаціях нашої країни.

Проте час ішов і з'явилися додаткові дані про процеси, що протікають в матеріалах при їх деформації. Необхідно було створювати більш досконалі методи і апаратуру для діагностики стану матеріалів конструкцій і споруд.

У 1993 р. з'являється нова, більш досконала модель діагностичної апаратури – система діагностики сімейства ЕМА (Evaluation of Material Ability). Серед переваг цієї апаратури є робота не тільки з датчиками АЕ, а й, за необхідністю, з іншими типами датчиків.

Апаратура реалізувала запропоноване фахівцями ІЕЗ нове комплексне поняття в оцінці матеріалу при його деформації – вектор стану матеріалу (ВСМ), що представляє до розгляду не окремі вимірювані величини, а їх зв'язний комплекс. З'явилася модифікована апаратура сімейства ЕМА – діагностичні системи ЕМА-2, ЕМА-3. На сьогодні

ні це системи ЕМА-4 і ЕМА-3Е – самонавчальна експертна система (рис. 7).

Підприємства України почали проявляти все більший інтерес до результатів розробок. Виникла потреба у створенні центру, який би став спеціалізованою перехідною ланкою між промисловістю та державними органами, що видають нормативну документацію по методам регламентних випробувань конструкцій. Для вирішення цього завдання, а також для координації робіт з контролю за станом конструкцій зусиллями трьох відомств – Держстандарту (Держспоживстандарт), Держнаглядохоронпраці (Держпраці) і Академії наук – у 1993 р. на базі ІЕЗ створюється Технічний комітет стандартизації ТК-78 «Технічна діагностика та неруйнівний контроль», який очолив академік Б.С. Патон. Створений ТК приступив до роботи в усіх галузях промисловості. У складі комітету були створені робочі підкомітети, до управління якими були залучені провідні фахівці галузей. Тепер випробування і оцінка стану матеріалів конструкцій і споруд в Україні знаходяться під наглядом і контролем ТК-78. Ми навели коротку характеристику розвитку робіт в області технічної діагностики матеріалів конструкцій і становлення організаційних структур, що направляють і координують ці роботи, за порівняно короткий проміжок часу, коли технічна діагностика зародилася і почала розвиватися як самостійний напрям. Зараз початкова стадія робіт завершена. На практиці використовується досить строга методологія, на її базі створена і успішно застосовується відповідна апаратура. Побудовано організаційні структури, що дозволяють комплексно вирішувати найбільшу проблему сьогодення

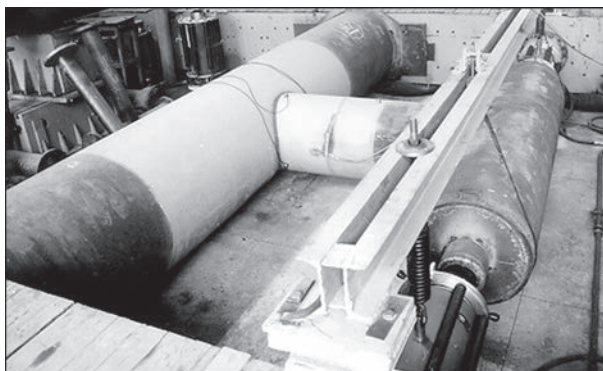


Рис. 6. Випробування елементів морських стаціонарних платформ акустико-емісійним методом



Рис. 7. Системи сімейства ЕМА

дня і, напевно, майбутнього – проблему забезпечення безпеки експлуатації конструкцій і споруд.

Створені і успішно застосовуються при контролі технологія і устаткування, що дозволяють здійснювати 100 % контроль і прогнозування залишкового ресурсу конструкцій без їх розбирання і попередньої підготовки. Створені в Україні та Угорщині діагностичні системи ЕМА-3, ЕМА-4 можуть оцінювати стан і визначати руйнівне навантаження посудин високого тиску, сховищ різного призначення, компресорних станцій, магістральних та технологічних трубопроводів, агрегатів котлів, котельних установок, рухливих деталей, роторів турбін, елементів мостів та інших конструкцій в процесі випробувань і експлуатації. Апаратне забезпечення такого обладнання виконує автоматизовані вимірювання, збір, обробку та зберігання діагностичної інформації. Програмне забезпечення формує і видає інформацію про стан конструкцій, попереджає про можливу небезпеку і прогнозує збереження їх працездатності (рис. 8).

Слід зазначити, що апаратне і програмне забезпечення систем проходять обов'язкову метрологічну перевірку на базі ДП «Укрметртестстандарт». Державні стандарти України, інші нормативні документи забезпечують застосування систем для різних промислових конструкцій. На базі Держгіртехнагляду і ТК-78 здійснюється навчання і сертифікація спеціалістів із застосування придбаного обладнання. З'явилася нова спеціальність – експерт з АЕ діагностики. Існує сервісна служба, що здійснює обслуговування і супровід приладів в процесі їх експлуатації. Вирішені практично всі питання, пов'язані із застосуванням апаратури сімейства ЕМА в промисловості України.

В подальшому ІЕЗ ім. Є.О. Патона, МДП «Індпром» і АТ «ВІДЕОТОН» розробили стаціонарну систему безперервного моніторингу ЕМА-3S. Система призначена для забезпечення експлуатаційної безпеки відповідальних об'єктів промисловості і транспорту і побудована на базі методу АЕ з використанням сучасної апаратури і передових комп'ютерних технологій. Система дозволяє про-



Рис. 9. Кілометрова ділянка магістрального аміакороводу Тольятті–Одеса на мосту через р. Дніпро

водити оцінку фактичного стану об'єкта контролю без зупинок і втручання персоналу в повністю автоматичному режимі. Закладені технології прийняття рішення про небезпеку стану контрольованого виробу дозволяють своєчасно запобігти аварійним ситуаціям. Необхідна для контролю інформація прямо з контрольованого об'єкта по мережі Інтернет може бути передана в будь-яку необхідну для прийняття остаточного рішення точку. На рис. 9 представлено один з таких контрольованих об'єктів, коли кілометрова ділянка труби, що проходить по мосту через р. Дніпро, контролюється безперервно по всій своїй довжині з передачею інформації в м. Київ, де і відбувається її оцінка на центральному діагностичному посту. Контролююча апаратура розташована на обох берегах річки.

Системи сімейства ЕМА в різних конфігураціях застосовуються на багатьох підприємствах України. В даний час функціонують 8 комплексів безперервного моніторингу на великих хімічних виробництвах (6 – на різних об'єктах АТ «Одеський припортовий завод», 2 – на трубопроводах ДП «Укрхімтрансміак») і 2 – на об'єктах київських ТЕЦ. Також діють мобільні діагностичні лабораторії. Із застосуванням систем сімейства ЕМА випробувано понад 2,5 тис. об'єктів в Україні, Росії та Польщі. У цьому чимала заслуга відділу технічної діагностики ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України і МДП «Індпром», якими виконано величезний комплекс науково-дослідних і організаційних робіт, що дозволив зробити вагомий внесок у створення теоретичних передумов в області прогнозуючої діагностики і отримати значні результати в практичному застосуванні цих розробок.

Спільними зусиллями вчених і розробників контроль технічного стану конструкцій з трудомісткого і незручного процесу поступово перетворюється в автоматизований, більш доступний і ефективний.

*А.Я. Недоска, С.А. Недоска, М.А. Яременко,
М.А. Овсієнко, О.І. Бойчук, І.Г. Волошкевич*

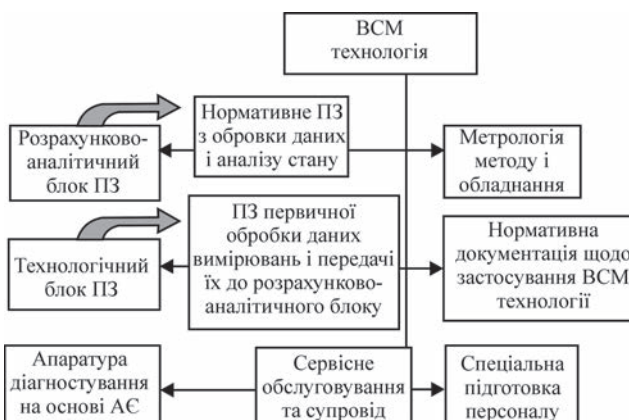


Рис. 8. Складові VCM технології: обладнання, програми і супроводжуюча документація