



ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

Б. Е. ПАТОН, Л. М. ЛОБАНОВ, А. Я. НЕДОСЕКА

Мы стоим на пороге существенных изменений в управлении эксплуатацией машин, оборудования, конструкций и сооружений. Близится время, когда можно будет в любой момент определить состояние конструкции и прогнозировать ее поведение в будущем. Необходимо помнить, что начало этим исследованиям, подходам к решению инженерных задач распознавания состояний, к их реализации заложено трудами и деятельностью многих отечественных и зарубежных ученых.

We are on the threshold of essential changes in control of operation of machines, equipment, structures and facilities. Close is the time, when it will be possible to determine at any moment the condition of a structure and forecast its behaviour in the future. It should be remembered, that the efforts and activity of many local and foreign scientists laid the foundations for these investigations, approaches to solving engineering tasks of condition identification and to their realization.

Прошло уже более 30 лет со дня организации и начала работ по созданию теории, методов и средств технической диагностики (ТД) сварных конструкций и материалов в нашей стране. На протяжении этих лет выполнен огромный объем работ, создана, по сути, новая технология контроля состояния конструкций, разработана и серийно выпускается необходимая для этих целей аппаратура, созданы соответствующие организационные структуры для приведения в действие всего механизма обеспечения безопасности эксплуатации конструкций и сооружений. Интересен путь, пройденный с момента зарождения проблемы и до сегодняшнего дня.

Работы по созданию теории и методов оценки и прогнозирования работоспособности конструкций у нас в стране начали координироваться организованным Государственным комитетом СССР по науке и технике в 1963 г. при Институте электросварки им. Е. О. Патона АН Украины Научным советом по проблеме «Новые процессы сварки и сварные конструкции». В составе секции «Сварные конструкции» Научного совета начала функционировать рабочая группа № 3 «Техническая диагностика и точность сварных конструкций» (рис. 1).

В начале своей деятельности рабочая группа сосредоточила основное внимание на традиционном вопросе технологии производства сварных конструкций — вопросе обеспечения их точности. Создание такой группы в то время диктовалось необходимостью координации и целевого финансирования научно-исследовательских и конструкторских работ ученых и специалистов страны по созданию способов учета отрицательного влияния сварочного процесса на геометрические размеры конструкций. Особенно большие неприятности сварочные деформации доставляли при изготовлении крупногабаритных листовых конструкций, сварных станин металлорежущих станков, которые начали приходиться на смену литым, при изготовлении рамных конструкций, держащих высокоточные крупногабаритные элементы (например, зеркала радиотелескопов).

Необходимо было более глубокое целенаправленное изучение этих процессов с учетом начавшегося бурного развития электронно-вычислительной техники. Изучение механизма явлений, связанных с процессом сварки и приводящих к потере конструкции основной (расчетной) формы равновесия, позволило получить важные теоретические результаты и основанные на них методы и средства борьбы с короблением сварных конструкций. Однако другим, не менее важным достижением этих исследований стали работы, появившиеся вначале как сопутствующие основным, а затем ставшие самостоятельными — работы по оценке состояния материала конструкции. Последние, базирующиеся на вычислительной технике, позволяли совершенно по-новому взглянуть на одну из важнейших проблем техники — проблему обеспечения безопасности эксплуатации сварных конструкций.

Результаты первых исследований показали, насколько сложна разрабатываемая проблема. Назрела необходимость выделения этого направления



Рис. 1. Председатель ГКНТ СССР академик В. А. Кириллин знакомится с работами ИЭС им. Е. О. Патона АН Украины в области точности и технической диагностики сварных конструкций (Киев, 1973 г.)

в самостоятельное с тем, чтобы можно было сконцентрировать усилия ученых и разработчиков на решении целого ряда проблем, возникших при более тщательном анализе. Нужно было сократить время научного поиска и получить более качественные результаты. И в 1978 г. принимается решение о необходимости более глубокого изучения проблемы оценки состояния материалов конструкций, а уже в следующем 1979 г. в составе Научного совета по проблеме «Новые процессы сварки и сварные конструкции» приступила к работе новая секция «Диагностика надежности сварных конструкций».

В работе секции приняли участие крупные академические и отраслевые научно-исследовательские институты, вузы и промышленные предприятия страны, в деятельности которых существенное место занимали вопросы обеспечения безопасности эксплуатации конструкций и сооружений, предприятия и организации, выпускающие или причастные к выпуску конструкций, повреждения которых могли привести к серьезным экологическим последствиям. Это, в первую очередь, Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова, ЦНИИТМАШ, КБ «Южное», ЦНИИ им. академика Крылова, ЦНИИ «Прометей», Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), ЦНИИМаш и Хабаровский филиал ВНИИФТРИ Госстандарта СССР, НИИ технологии машиностроения, ЦНИИМатериалов, НИИ «Квант», Черноморский судостроительный завод, Северное машиностроительное предприятие, ВНИИНК, представившие практически все основные отрасли народного хозяйства страны.

Академические институты и высшие учебные заведения представляли: Институт металлофизики АН Украины, Институт проблем машиностроения АН Украины, Институт электросварки им. Е. О. Патона АН Украины, Институт гидродинамики АН Украины, Киевский политехнический институт и Киевский государственный университет им. Т. Г. Шевченко, а также МВТУ им. Н. Э. Баумана, Московский инженерно-физический институт, Харьковский политехнический институт и Харьковский государственный университет, НИИ математики и механики при Ростовском университете.

К 1983 г. объем работ, выполняемых в области ТД, существенно возрос и Академия наук Украины, Институт электросварки им. Е. О. Патона АН Украины принимают необходимые меры для более четкой организации и планирования таких работ, контроля за ходом их выполнения. Так, в 1983 г. на базе лаборатории по ТД сварных конструкций создается структурный отдел ИЭС того же направления, а спустя некоторое время при Президиуме Академии наук создается Научный совет по проблеме «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», в составе которого начали работать более 20 институтов и организаций. С этого момента работы в области ТД эксплуатирующихся конструкций начинают носить целевой планируемый характер.



Рис. 2. Заседание рабочей группы СЭВ по ТД. В заседании принимают участие представители Болгарии, Венгрии, Польши, Украины, Чехословакии и Югославии (Киев, ноябрь 1983 г.)

К началу 1982 г. круг специалистов, работающих в области ТД, расширился за счет стран-членов СЭВ. Образовавшаяся рабочая группа для выполнения новой совместной темы «Разработка, исследование и применение средств акустической диагностики сварных конструкциях» объединила усилия специалистов из Болгарии, Венгрии, Советского Союза, Польши, Румынии, Чехословакии и Югославии для решения этой важной проблемы. Центром рабочей группы становится Институт электросварки им. Е. О. Патона АН Украины, уже возглавивший работы по этому направлению у нас в стране (рис. 2).

Интенсивное развитие работ потребовало и более интенсивных обменов результатами исследований, чем те, которые обеспечивала секция Научного совета по сварке. В 1986 г. начинают работать Всесоюзный методологический семинар по вопросам технической диагностики, созданный при Президиуме Академии наук Украины, и международная школа «Акустическая эмиссия в диагностике предразрушающего состояния и прогнозировании разрушения сварных конструкций», первое заседание которой состоялось в октябре 1986 г. в г. Варна (Болгария) на базе Комбината контрольно-сварочных работ (КЗУ) (рис. 3). Работа школы была прервана на 17 лет и лишь в 2003 г. школа возобновила свою работу заседанием в г. Будапеште на базе Университета Св. Иштвана (см. цв. вклейку, рис. 4).



Рис. 3. Участники первой международной школы по ТД (Варна, октябрь 1986 г.)



Одним из существенных достижений методологического семинара явился прогноз разработок в области создания методов и средств диагностики на промышленной основе. В частности, рассматривались два метода диагностирования материалов — на основе глубоких фундаментальных исследований и на основе статистических данных. Был сделан вывод, что в первом случае на базе применения методов квантовой механики разрушения аппаратура и методики ее применения (при сохранении начатого в 1986 г. темпа научно-исследовательских и практических работ) будут созданы к 2010 г. По второму методу результаты работ следует ожидать в 1995 г. Как показала жизнь, выводы семинара подтвердились созданием в 1993 г. диагностической аппаратуры семейства ЕМА: появилась первая диагностическая система ЕМА-1.

На рис. 5 представлена схема прогноза завершения работ по ТД материалов начиная с 1986 г. Интересно отметить, что на основании достаточно сложного механизма прогноза все же правильно было предусмотрено время появления серийных диагностических систем, работающих по второму методу. Трудность прогноза заключалась в том, что необходимо было предусмотреть развитие не только собственно теории диагностирования, но и развитие смежных отраслей знаний и соответствующей техники, на базе которых осуществлялись разработки. Это — возможности вычислительной техники, способной обработать в сжатое время достаточно большие потоки информации, поступающей с контролируемой поверхности изделий, и измерительной техники, такой, как датчики и измерительные приборы, которая была бы в состоянии предоставить на вход вычислительной машины достаточную по требованиям теории и точности измерения информацию. На схеме условно показаны все три ветви прогнозируемых разработок.

Недостаточное количество специалистов в области диагностики материалов в условиях постоянно растущих требований к прочности и надежности конструкций вызвало необходимость организации их планомерной подготовки. Рассматривая эту проблему как одну из составных частей проблемы обеспечения надежности и безопасности эксплуатации конструкций и учитывая, что подавляющее большинство их изготавливается с применением



Рис. 5. Схема прогноза завершения работ по ТД материалов

сварки, Секция ТД принимает решение о необходимости организации подготовки специалистов в области ТД на базе крупных учебных центров страны. Начиная с 1990 г., совместными усилиями Секции, Института электросварки им. Е. О. Патона АН Украины и Киевского политехнического института при ряде вузов страны, включая КПИ, на базе специальности «Оборудование и технология сварочного производства» создается новая специализация 12.05.04 «Диагностика и прочность сварных конструкций». Специализация предусматривала подготовку специалистов достаточно широкого профиля для работы в области диагностики технического состояния и прогнозирования ресурса сварных конструкций. Однако в связи с распадом СССР, созданная структура так и не приступила к работе в полном объеме.

Более широкому обмену мнениями в области разработок по ТД способствовало появление ежегодного республиканского межведомственного сборника «Диагностика и прогнозирование разрушения сварных конструкций», первый номер которого вышел в 1985 г. Сборник издавался четыре года и в свет вышли четыре номера. В 1989 г. на смену этому сборнику пришел периодический ежеквартальный всесоюзный научно-теоретический журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», который с 1993 г. становится международным. Журнал приобрел широкую известность и популярность как у нас в стране, так и за рубежом. Уже первый номер журнала переиздавался в полном объеме в Великобритании на английском языке, что позволило привлечь к его тематике специалистов всех стран, говорящих на английском языке. Журнал начали выписывать многие библиотеки и организации Западной Европы, США и Японии.

Работа, проводимая рабочей группой СЭВ, к 1988 г. увенчалась разработкой первого опытного прибора для диагностики материалов на базе метода акустической эмиссии (АЭ). Это еще не была диагностическая система, хотя прибор выполнял достаточно много диагностических функций. Первый четырехканальный прибор конструкции Венгерского Института по ядерным исследованиям КФКИ с математическим обеспечением разработки ИЭС им. Е. О. Патона АН Украины появился на внутреннем рынке Украины и стран СНГ в 1989 г. Испытания этого прибора осуществлялись при исследовании зарождения и развития дефектов в процессе нагружения трубчатых элементов морских стационарных платформ.

Испытания показали высокую эффективность прибора. Зарождающиеся дефекты обнаруживались на микроуровне, когда скопления дислокаций только начинали образовывать область, где в дальнейшем должна была появиться и привести к разрушению конструкции трещина. Продолжение испытаний показало, что трещина образуется именно в том месте, на которое указала аппаратура. Аппаратура стала входить в практику работ предприятий и организаций страны.

Однако время шло, и появились дополнительные данные о процессах, протекающих в мате-



риалах при их деформировании. На повестку дня встал вопрос о необходимости создания более совершенных методов и аппаратуры для диагностики состояния материалов конструкций и сооружений.

Распад СССР серьезно изменил распределение сил и работ в направлении ТД. Заметно старели конструкции, ослабело внимание к ним со стороны персонала. Необходимо было срочно принимать меры по совершенствованию методов и технологий контроля. Нужно было знать фактическое состояние конструкций, чего не могли дать традиционные методы оценок. Начинать необходимо было с учебы персонала. С конца 1994 г. на базе ИЭС им. Е. О. Патона



Рис. 6. Первый выпуск слушателей курсов подготовки специалистов по ТД (Киев, декабрь 1994 г.)

НАНУ начинают действовать курсы подготовки специалистов по ТД для лиц, работающих в различных областях промышленности (рис. 6). Сейчас подготовка персонала приобрела более специализированный характер и осуществляется совместно с Главным учебно-методическим центром Государственного комитета по надзору за охраной труда в Украине. Специалисты готовятся по двум направлениям — общая диагностика конструкций и сооружений и диагностика на основе АЭ, приобретающей все более широкую популярность (см. цв. вклейку, рис. 7).

К началу 1993 г. появляется новая, более совершенная модель диагностической аппаратуры — системы диагностики семейства ЕМА (Evaluation of Material Ability). Полученные разработки заинтересовали руководителей промышленных предприятий, и возникла потребность в создании центра, который бы явился специализированным переходным звеном между промышленностью и государственными органами, издающими нормативную документацию по методам регламентных испытаний конструкций. Потребовались совместные усилия трех ведомств — Госстандарта Украины, Госназдорхрантруда Украины и Академии наук Украины, чтобы объединить комплексные достижения ученых и специалистов с главными законообразующими органами Украины с целью повышения уровня работ предприятий по контролю за состоянием эксплуатации конструкций и сооружений. В результате в 1993 г. был создан Технический Комитет по стандартизации № 78 «Техническая диагностика и неразрушающий контроль (ТК-78 «ТДНК»)). Созданный Комитет приступил к работе во всех отраслях промышленности и стал оказывать большую помощь Украинскому комитету по надзору за охраной труда в Украине в деле обеспечения безопасности эксплуатации конструкций и сооружений. В составе комитета были созданы рабочие подкомитеты, к управлению которыми были привлечены ведущие специалисты отраслей. Структурная схема ТК-78 «ТДНК» пока-

зана на рис. 8. Работа комитета привела к появлению служб ТД на промышленных предприятиях.

Опыт контроля состояния конструкций мобильными диагностическими системами показал некоторые недостатки в таком подходе. Отсутствие непрерывной информации о работоспособности конструкций приводило к необходимости выполнения достаточно сложных расчетов для принятия решения о возможности продолжения их дальнейшей эксплуатации. Появилась необходимость в разработке систем непрерывного контроля. Такие системы были созданы и непрерывный мониторинг стал реальностью. Созданная уникальная технология контроля и аппаратура на ее основе позволили малым количеством датчиков осуществить непрерывный долгосрочный стопроцентный контроль больших поверхностей конструкций. Это была большая победа. Первая диагностическая система такого профиля была смонтирована и запущена на Одесском припортовом заводе при контроле крупногабаритных хранилищ аммиака (см. цв. вклейку, рис. 9). Следует отметить еще одну особенность разработанной технологии контроля, ис-



Рис. 8. Схема Технического комитета № 78 «Техническая диагностика и неразрушающий контроль (ТК-78 «ТДНК»)), направление — техническая диагностика (НАЦ — Национальный аттестационный центр в области ТД; Индпром — базовое предприятие)



пользующей возможности передачи информации через Интернет. Такая технология позволила перенести управление контролем в единый аналитический центр и использовать высококвалифицированных специалистов в области ТД и других специальностей для выработки более качественных решений о состоянии контролируемых конструкций (см. цв. вклейку, рис. 10).

С 2000 г. появляются системы диагностики, позволяющие прогнозировать разрушающую нагрузку конструкций на ранних стадиях разрушения, прогнозировать их остаточный ресурс. Указанные технологии использовали сложный математический аппарат на базе теории распознавания образов и стали основой диагностической техники. Эта техника начинает широко применяться на предприятиях Украины. На рис. 11 (цв. вклейка) показан момент контроля оборудования химического завода, выполнявшийся в момент пуска производства. При этом традиционные методы контроля не проводились, что позволило совместить контроль оборудования с пуско-наладочными работами и резко сократить время пуска за счет ликвидации обычных методов контроля.

В ноябре 2000 г. по инициативе Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины при Президиуме Национальной академии наук Украины создан научно-координационный центр по вопросам ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин. Специалистами различных отраслей промышленности, входящими в состав Совета, был проведен анализ состояния конструкций, сооружений и оборудования основ-

ных отраслей промышленности Украины и на его базе подготовлена записка. Эти материалы в дальнейшем были рассмотрены на заседании Межведомственной комиссии по вопросам научно-технологической безопасности при Совете национальной безопасности и обороны Украины и переданы в Администрацию Президента, который дал соответствующие поручения Правительству для разработки комплекса государственных мероприятий направленных на улучшение существующей ситуации.

Мы привели краткую характеристику развития работ в области ТД материалов конструкций и организационных структур, направляющих и координирующих эти работы, за сравнительно короткий промежуток времени, когда ТД зародилась и начала развиваться как самостоятельное направление. Необходимо отметить, что ТД конструкций на практике уже приобрела свойственные ей характерные черты. Уже нет путаницы между понятиями неразрушающего контроля и технической диагностики. На практике используется достаточно строгая методология, на ее базе создана и успешно применяется соответствующая аппаратура. Непрерывно совершенствуются технология диагностики и оборудование, которые к настоящему времени достигли такого уровня, при котором применение их на практике приводит к существенному экономическому эффекту. Интенсивно развивается непрерывная диагностика (мониторинг), которая будет оказывать все более существенное влияние на себестоимость продукции, что станет весомым фактором при конкуренции на рынке.

*Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины,
Киев*

*Поступила в редакцию
15.09.2003*