

УДК 620.1

Н.П. МИГУН, д-р физ.-мат. наук  
Институт прикладной физики НАН Беларуси, г. Минск

## НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

*Проанализирована роль неразрушающего контроля и технической диагностики в решении проблем повышения качества и конкурентоспособности промышленной продукции, в обеспечении надежности и безопасности функционирования сложных технических систем. Приведено краткое описание важнейших разработок в этой области, выполненных в последние годы в Беларуси. Обсуждается инновационная стратегия дальнейшего развития новых методов и средств неразрушающего контроля и технической диагностики.*

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, техническая диагностика, дефектоскопия, толщинометрия, структуроскопия, мониторинг

Проблемы качества промышленной продукции и безопасности функционирования сложных технических объектов становятся с каждым годом все острее. В условиях рыночных отношений сбыт промышленными предприятиями своей продукции напрямую связан с ее качеством и конкурентоспособностью. Экспорт производимых в нашей стране транспортных средств и другой техники также связан с их качеством, чему в немалой степени способствуют методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики (НК и ТД).

Кроме проблемы повышения качества промышленной продукции есть другая не менее важная проблема, решение которой невозможно без современных средств НК и ТД. Это надежность функционирования потенциально опасных, сложных технических объектов. Излишне подробно говорить о том, какую роль играют именно сегодня и именно в нашей стране (где очень высок процент изношенности основных средств) научно-исследовательские работы, имеющие целью разработку современных, высокоэффективных методов и средств НК и ТД. Ведь своевременное выявление нештатных рабочих режимов потенциально опасных, сложных технических объектов позволяет избежать не только колоссальных материальных потерь, но и гибели людей. В Беларуси, по данным Госпромнадзора МЧС РБ, отработали сроки службы более 56 % котлов, около 60 % судов под давлением, более 80 % грузоподъемных кранов и 34 % лифтов. А с годами ситуация с этими процентами усугубляется.

Республика Беларусь обладает сравнительно высоким среди стран СНГ уровнем развития промышленности, развитой системой магистральных газо- и нефтепроводов, продуктопроводов, широкой железнодорожной сетью. Ее промышленный потенциал характеризуется десятками крупнейших машиностроительных предприятий («БелАЗ», «МАЗ», «МТЗ», «Гомсельмаш» и многие другие), современными нефтеперерабатывающими предприятиями («НАФТАН», Мозырский нефтепере-

рабатывающий завод), более 10 тысячами километров трубопроводов, десятками тысяч объектов газо- и нефтераспределительных систем, более 5 тысячами километров Белорусской железной дороги. Все это — лишь часть промышленных и транспортных предприятий, остро нуждающихся в современных средствах неразрушающего контроля и технической диагностики для повышения качества и конкурентоспособности своей продукции и обеспечения надежности и безопасности функционирования сложных технических систем.

Уровень развития передовых стран мира на современном этапе характеризуется не столько высоким объемом производства и ассортиментом выпускаемой продукции, сколько показателями качества, надежности и безопасности. Поэтому в высокоразвитых странах затраты на контроль качества составляют значительную часть от стоимости выпускаемой продукции. Например, потери только от дефектов усталости металла в США составляют более 100 млрд долл., а от коррозии — более 200 млрд долл. в год [1]. Понятно, что убытки от недостаточно высокого качества материалов и изделий в Беларуси в процентном отношении к объему всей выпускаемой продукции не меньше.

Получение новых результатов фундаментальных и прикладных научных исследований и разработка на их основе современных высокоэффективных приборов и методик НК и ТД — одна из главных необходимых составляющих качества и конкурентоспособности выпускаемой национальной продукции, гарантирующая безопасность промышленных, транспортных, энергетических, строительных объектов.

Важнейшую роль в решении актуальных задач НК и ТД, стоящих перед предприятиями и организациями различных отраслей, играет подпрограмма научных исследований «Техническая диагностика» государственной программы научных исследований «Механика, техническая диагностика, металлургия» (2011—2015 годы). Наличие в стране подпрограммы «Техническая диагностика», каждое из заданий которой направлено на реше-

ние конкретных практических задач народного хозяйства республики в области НК и ТД, позволяет оптимальным образом достигать поставленных целей. Цель подпрограммы — исследование взаимодействия различных физических полей с материалами, изделиями и элементами конструкций и разработка на основе полученных результатов новых методов, средств и информационных технологий НК и ТД, обеспечивающих повышение качества промышленной продукции и безопасности эксплуатации сложных технических объектов.

Это научное направление традиционно носит многоотраслевой характер — современные методы и средства НК и ТД востребованы предприятиями Министерства промышленности, Министерства энергетики, Министерства архитектуры и строительства, Министерства по чрезвычайным ситуациям, Министерства транспорта и коммуникаций, концерна «Белнефтехим» и др. (этот факт является и определенной гарантией устойчивой востребованности разработок в области НК и ТД). При этом достаточно сильная в Беларуси научная школа в области физики неразрушающего контроля (только в Институте прикладной физики НАН Беларуси (ИПФ НАН Беларуси) 15 докторов и 20 кандидатов наук) позволяет эффективно решать возникающие на предприятиях специфические задачи.

Важнейшие прикладные задачи неразрушающего контроля и технической диагностики, решаемые в рамках 27 заданий подпрограммы:

- контроль дефектов сплошности материалов и элементов конструкций (трещины, раковины, включения и т. п.);
- контроль структуры и физико-механических свойств материалов (размер зерна, анизотропия структуры, твердость, прочность, влажность, магнитные свойства и др.);
- контроль толщин покрытий, упрочненных слоев, стенок сосудов и других геометрических параметров;
- контроль напряженно-деформированного состояния деталей и элементов конструкций;
- томографическая визуализация внутреннего строения объектов;
- диагностика и мониторинг технического состояния потенциально опасных объектов промышленности, энергетики, строительства, прогнозирования их остаточного ресурса.

Внедрение современных методов НК и ТД обеспечивает:

- соответствие технических характеристик продукции проектным характеристикам, оговоренным в нормативно-технической документации (качество и конкурентоспособность продукции);
- уменьшение нерациональных потерь материала и энергии на технологическую обработку благодаря своевременному выявлению дефектных заготовок, невыявлению толщин защитных покрытий

и упрочненных слоев заданным в документации и т.п. (материало- и энергосбережение);

- повышение показателей надежности и долговечности объектов, наработки на отказ посредством снижения количества невыявленных дефектов (надежность и безопасность).

**Примеры разработок, имеющих перспективы расширения внедрения.** Для анализа перспектив развития в стране фундаментальных и прикладных исследований в области НК и ТД рассмотрим ряд последних разработок, выполненных в основном в рамках подпрограммы «Техническая диагностика».

Экспериментальные результаты исследования взаимодействия неоднородных упругих волн с поверхностями отражения при различных граничных условиях легли в основу разработанных в ИПФ НАН Беларуси принципиально новых методик и соответствующих измерительных средств для ультразвукового контроля дефектов поршней дизельных двигателей. Например, создана автоматизированная ультразвуковая установка для выявления дефектов соединения нирезистовой вставки с материалом поршня и оценки их протяженности, позволяющая осуществлять разбраковку в соответствии с введенными параметрами браковочного уровня (рисунок 1). В результате впервые реализован стопроцентный ультразвуковой контроль заготовок поршней двигателей внутреннего сгорания в потоке производства. Модификации аппаратуры для контроля поршней разных типоразмеров (как готовых изделий, так и заготовок) применительно к условиям предприятий-заказчиков внедрены на ряде предприятий Беларуси и России (Минский моторный завод, Ярославский моторный завод, Камский моторный завод и др.). В настоящее время завершается процесс разработки, изготовления и поставки на Камский моторный завод новой универсальной установки для ультразвукового контроля качества сцепления элементов поршней дизельных двигателей для 18 типоразмеров поршней и заготовок поршней.

На основе изучения характера перемагничивания структурно неоднородных стальных и чугуновых изделий, имеющих дефекты сплошности, в этом же институте предложены эффективная методика и вихретоковый прибор с 16 измерительными преобразователями, которые используются в составе автоматизированной установки для стопроцентного контроля металлургических дефектов гильз дизельных двигателей в потоке производства на Минском моторном заводе. Аппаратура позволяет осуществлять бесконтактный неразрушающий контроль в потоке производства гильз дизельных двигателей при высокой шероховатости поверхности, под слоем краски, покрытия в бесконтактном варианте. Выявляются как продольные, так и кольцевые дефекты сплошности наружной и внутренней поверхностей гильз дизельных двигателей. Повышение достоверности контроля достигнуто за счет ориги-

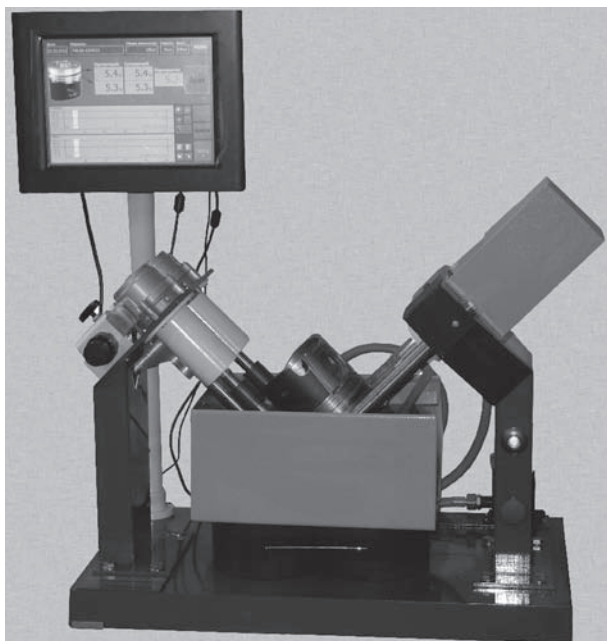


Рисунок 1 — Установка для неразрушающего контроля качества сцепления нирезистивных вставок в поршнях дизельных двигателе

нальной методики отстройки от влияния мешающих факторов (структурных неоднородностей материала, грубой поверхности).

Поскольку в машиностроении все возрастают объемы применения чугунных отливок со структурой высокопрочного чугуна, весьма перспективной и востребованной является разработка приборов для разбраковки чугунных отливок в зависимости от структуры, определяемой формой графитовых включений. Разработанный в ИПФ НАН Беларуси ультразвуковой индикатор структуры чугунных отливок (рисунок 2) позволяет оперативно определять структуру чугуна (высокопрочный или серый) непосредственно в отливках. В приборе использована взаимосвязь между параметрами распространения упругих волн (скорость, коэффициент затухания) со структурой и механическими свойствами чугуна. В основе лежит сравнение истинного линейного размера отливки с расчетными показаниями, полученными из измерения прибором временного промежутка, необходимого акустическому сигналу для преодоления расстояния между преобразователями, установленными на противоположных поверхностях отливки. Результаты измерения индикатором не зависят от формы отливки, причем ее подготовка к контролю требует только дробеструйной очистки от окалины. Десятки этих приборов внедрены на предприятиях Беларуси. Перспективы совершенствования приборов связаны с повышением достоверности контроля, локальности зоны контроля, с обеспечением возможности контроля отливок при одностороннем доступе.

Крупным достижением последних лет является установление закономерностей распространения упругих волн, создаваемых ультразвуковым преобразователем с локальным акустическим кон-



Рисунок 2 — Индикатор высокопрочного чугуна ИЧ-21

тактом, в деталях и заготовках с поверхностно упрочненными слоями. Проведены исследования с целью разработки акустического метода неразрушающего контроля толщины поверхностного слоя в металлах, закаленных после цементации. До недавнего времени оценка этой величины производилась по результатам металлографических исследований. Однако результаты металлографической оценки имеют низкую точность, так как во многом зависят от субъективных факторов. Для решения поставленной задачи был предложен способ измерения путем использования поверхностных акустических волн в заданном диапазоне частот. Частота определяет глубину проникновения упругой энергии в изделие. Изменение структуры в результате закалки приводит к перераспределению направления микросмещений в распространяющейся волне. Фиксируются данные изменения по скорости ее распространения. Разработана соответствующая методика исследований и первичные преобразователи, обеспечивающие ввод колебаний в заданном диапазоне частот, проведены исследования, позволившие получить корреляционные зависимости для определения толщины переходного слоя на стальных деталях при закалке после цементации по градиенту скорости распространения поверхностных упругих волн от низких (0,5 МГц) до высоких (5 МГц) частот. В результате в ИПФ НАН Беларуси разработана уникальная аппаратура для ультразвукового контроля толщины поверхностно упрочненных слоев, полученных закалкой ТВЧ и цементацией, внедренная на ряде предприятий (Минский автомобильный завод и др.).

Развивается импульсный магнитный метод неразрушающего контроля структуры и механических характеристик ферромагнитных материалов и изделий. Выполнен широкий комплекс исследований, позволивших установить взаимосвязи меж-

ду механическими и магнитными характеристиками ферромагнитных сталей после различных видов механической и термической обработки. Установлены закономерности влияния температур закалки и отпуска коротких полых цилиндрических тел из конструкционных сталей, моделирующих широко используемые на практике детали машиностроения (гайки, шайбы и др.), на параметры их петель гистерезиса при импульсном режиме намагничивания сериями импульсов с изменяющимися амплитудами. С использованием ряда измеренных магнитных параметров получено выражение, устанавливающее однозначную связь между ними и величиной твердости исследованных тел при различных условиях закалки и отпуска. Это обеспечивает возможность неразрушающего контроля твердости указанных машиностроительных деталей и заготовок после объемной термической обработки.

В результате проведенных исследований в ИПФ НАН Беларуси разработан и внедрен прибор ИМА-М для импульсного магнитного многопараметрового контроля твердости изделий машиностроения (стальных заготовок зубчатых колес и гаек), подвергаемых закалке и высокотемпературному отпуску. Другой прибор, импульсный магнитный анализатор ИМА-4М, предназначен для неразрушающего контроля механических свойств (твердость, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение при разрыве) и микроструктуры (балл зерна) изделий из низкоуглеродистых сталей толщиной от 0,15 до 4 мм. С его помощью осуществляется также контроль ряда среднеуглеродистых и низколегированных холоднокатаных, а также некоторых горячекатаных сталей. Перспективы расширения внедрения этих приборов и установок связаны с получением новых результатов исследований взаимосвязи механических и магнитных свойств, которые позволят производить контроль с более высокой чувствительностью и производительностью.

В этом же Институте ведутся работы по применению метода высших гармоник для контроля твердости поверхностного слоя стальных изделий после поверхностного упрочнения ТВЧ. Разработаны приборы типа НТ, принцип действия которых основан на том, что контролируемый участок перемещается переменным магнитным полем возбуждения синусоидальной формы, создаваемым накладным преобразователем, а о твердости судят на основе измерения амплитуды определенной высшей гармонической составляющей вторичной ЭДС преобразователя. Установлена связь между твердостью и амплитудами высших гармоник. При указанном способе контроля отсутствует механическое воздействие на контролируемое изделие, причем преобразователь может иметь небольшие геометрические размеры, что позволяет проводить контроль твердости в местах, где затруднен конт-

роль другими приборами, например, в отверстиях, узких пазах. Прибор НТ применяется на многих предприятиях Беларуси, в частности, с его помощью проводится контроль твердости коренных и шатунных шеек коленчатых валов на РУП «ММЗ».

В ИПФ НАН Беларуси предложен новый магнитодинамический метод измерений применительно к магнитной толщинометрии защитных покрытий. Разработан и внедрен ряд уникальных приборов для магнитного контроля толщин толстослойных никелевых, двухслойных (хромовых и никелевых) и слабомагнитных металлокерамических покрытий. Магнитные толщиномеры защитных покрытий МТЦ-2М и МТЦ-3 (рисунок 3 а) внедрены на ряде промышленных предприятий Беларуси (МТЗ, МАЗ, БелАЗ и др.). Созданы методики, приборы и осуществлено их метрологическое обеспечение применительно к контролю специальных покрытий ракетных двигателей. Разработанные приборы и меры толщин покрытий внесены в Госреестр средств измерений Российской Федерации. Магнитный толщиномер МТНП (см. рисунок 3 б) позволяет осуществлять контроль защитных толстослойных (до 1000 мкм) никелевых покрытий на немагнитных и слабомагнитных сталях и сплавах. Магнитный толщиномер МТДП-1 предназначен для раздельного контроля слоев в двухслойных (хром (0—300 мкм) + никель (0—1000 мкм)) защитных покрытиях на немагнитных и слабомагнитных сталях и сплавах. Магнитный толщиномер МТКП-1 позволяет осуществлять контроль слабомагнитных металлокерамических защитных покрытий (0—300 мкм) на немагнитных и слабомагнитных сталях и сплавах. Толщиномеры специальных защитных покрытий и меры внедрены на Воронежском механическом заводе и ОАО «Металлист-Самара». Прорабатываются варианты разработки и поставки новых толщиномеров, имеющих более высокую чувствительность и более широкий диапазон измеряемых толщин покрытий. Ближайшие перспективы более широкого внедрения магнитных толщиномеров защитных покрытий связаны с планируемой разработкой нового типа прибора, объединяющего функции двух методов: магнитодинамического и вихрекового.

Последние годы активно развивается метод динамического индентирования для контроля физико-механических свойств материалов. В ИПФ НАН Беларуси установлены новые закономерности, характеризующие взаимосвязь между шероховатостью и жесткостью контролируемого объекта и параметрами ударного взаимодействия с ним жесткого индентора, позволившие впервые предложить эффективную методику отстройки показаний динамических твердомеров от влияния шероховатости и жесткости объектов и тем самым значительно расширить диапазон применимости динамических твердомеров. Разработана соответствующая аппаратура для контроля нежестких тонкостенных металлоконструкций. Прибор ИМПУЛЬС-2М для контроля механи-



а



б

Рисунок 3 — Магнитные толщиномеры защитных покрытий: а — МТЦ-3; б — МТНП-1

ческих свойств стальных деталей предназначен для контроля твердости и предела прочности деталей и элементов конструкций с толщиной стенки не менее 6 мм в любом пространственном положении преобразователя. Установка ИМПУЛЬС-1Р для контроля комплекса физико-механических характеристик полимеров (резин, пластиков) позволяет определять твердость по Шору (в единицах IRHD), эластичность по отскоку, вязкость, модуль упругости и др. Разработаны также контактно-динамические приборы для измерения прочности бетонов и асфальтобетонов (рисунок 4). Метод динамического индентирования для контроля физико-механических свойств материалов и реализующая его аппаратура внедрены на ряде промышленных предприятий Беларуси и России. Впервые метод динамического индентирования предложен в качестве нового направления для изучения и контроля трещиностойкости неметаллических материалов.

Большое внимание в стране уделяется вопросам энергосбережения, в том числе технической диагностике электроэнергетического оборудования (силовых трансформаторов, генераторов, электродвигателей и др.). В ИПФ НАН Беларуси выполнены исследования характера электромагнитных процессов в электрических машинах, изучено влияние дефектов изоляции на переходные процессы в обмотках, установлены закономерности неоднородного перемагничивания электротехнических сталей и магнитопроводов электрических машин. Разработан комплекс приборов для диагностики электрических машин: для бесконтактного контроля токов утечки высоковольтного оборудования (рисунок 5 а); для диагностики силовых трансформаторов в условиях эксплуатации и ремонта (см. рисунок 5 б); для диагностики параметров электрических машин по-

стоянного тока; для наладки и диагностики установок фильтрации реактивной мощности электрических сетей и силового оборудования; для контроля витковых замыканий обмоток электрических машин (см. рисунок 5 в); для измерения магнитных характеристик и электромагнитных потерь электротехнической стали, для измерения магнитных полей. Партии приборов переданы по договорам на предприятия и в службы Белорусской железной дороги, на Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова и др. В настоящее время завершены работы по созданию магнитоизмерительной цехолистовой установки для технологического конт-



Рисунок 4 — Прибор для определения физико-механических свойств строительных материалов ИПМ-1А

роля магнитных характеристик и электромагнитных потерь электротехнической стали.

Разработана теория и методология реконструкции динамических изображений внутренней структуры объектов в рентгеновской томографии, эффективные информационные технологии реконструкции изображений применительно к размеромерии и дефектоскопии, основанные на решении некорректных задач, возникающих при ограничении угла обзора, недостаточной мощности источника излучения и при малом числе проекций. Эти разработки прошли успешную апробацию в рамках договора с Минским тракторным заводом при дефектоскопии и размеромерии ответственных узлов и деталей. В частности, осуществлена трехмерная томографическая реконструкция и получены томограммы ряда бескорпусных игольчатых подшипников. Скорейшее доведение этих работ до широкого коммерческого использования, — разработка соответствующей томографической аппаратуры, — требует инвестиций заинтересованных предприятий машиностроительного комплекса. В ИПФ НАН Беларуси проводится также работа с целью создания основанного на вероятностном подходе нового метода прогнозирования остаточного ресурса ответственных деталей машиностроения (например, автомобильной рамы и ее элементов) с применением мониторинга структурной деградации металла неразрушающим микромагнитным методом, рентгенографии и других видов исследований.

Все большее внимание уделяется разработке систем диагностики и мониторинга технического состояния потенциально опасных объектов промышленности, строительства, энергетики. В ИПФ

НАН Беларуси разработаны принципы, математические алгоритмы, программное обеспечение, датчики, средства передачи, обработки и отображения многосенсорной информации для систем мониторинга технического состояния несущих строительных конструкций уникальных и высотных зданий и сооружений. Еще при строительстве Национальной библиотеки применялись разработанные в институте аппаратура и методика оценки напряженно-деформированного состояния опор здания. Затем была разработана и внедрена система мониторинга напряженно-деформированного состояния вантового кольца культурно-спортивного комплекса «Минск-Арена». Эта система включает комплект из 32 разработанных датчиков деформаций с соответствующим программным обеспечением и позволяет осуществлять непрерывный мониторинг деформаций и напряжений в металлоконструкции в процессе эксплуатации комплекса «Минск-Арена», оповещать о появлении критических деформаций и напряжений, предотвращая возможные аварийные ситуации на объекте. В настоящее время разрабатываются и внедряются новые системы мониторинга технического состояния несущих конструкций высотных и большепролетных строительных сооружений (строящееся в Минске высотное здание «Парус» Бизнес-Центра, спортивный комплекс «Фристайл-Центр», многофункциональный культурно-спортивный комплекс «Чижовка-Арена»).

Разработан ряд методик технического диагностирования и определения остаточного ресурса потенциально опасных промышленных объектов и технологического оборудования для предприятий нефтехимии (для ОАО «Гродно-Азот», ОАО «Мозыр-



а



б



в

Рисунок 5 — Приборы для диагностики электроэнергетического оборудования: а — ИМТБ; б — ДСТ; в — ДО-1

ский нефтеперерабатывающий завод» и др.). Созданы и широко внедрены приборы для мониторинга состояния двухстенных резервуаров для хранения нефтепродуктов на предмет появления течи.

Исследования продолжаются в направлении разработки научно обоснованных методик и технологий технической диагностики, мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса потенциально опасных промышленных объектов на основе вероятностных оценок.

В Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси разработаны и внедрены средства вибромониторинга (рисунок 6) и методика разбраковки редукторов приводов ленточных конвейеров. Перспективы расширения внедрения полученных результатов связаны с созданием в ближайшее время программно-инструментальных средств и методологии вибромониторинга технического состояния и остаточного ресурса редукторов мотор-колес самосвала БелАЗ, технического состояния коробок передач МЗКТ.

На ряде предприятий Министерства энергетики Республики Беларусь внедрена разработка Института технической акустики НАН Беларуси — автоматизированная система контроля утечек нефтепродуктов из резервуарных парков для сбора и обработки в автоматическом режиме информации о хранящихся, потребленных и отпущенных нефтепродуктах. Эта система обеспечивает автоматизированный учет нефтепродуктов, а также оперативный контроль режимов работы оборудования в резервуарных парках.

Последние разработки в области НК и ТД Белорусского национального технического университета — методика и пакет прикладных программ для оценки остаточного ресурса оборудования и металлоконструкций, основанные на определении комплекса механических свойств металла неразрушающими методами. Эти разработки успешно внедряются при обследовании технического состояния металла башенных кранов и резервуаров, при определении несущей способности строительных конструкций. Планируется расширение масштабов внедрения после адаптации разработки применительно к техногенным объектам.

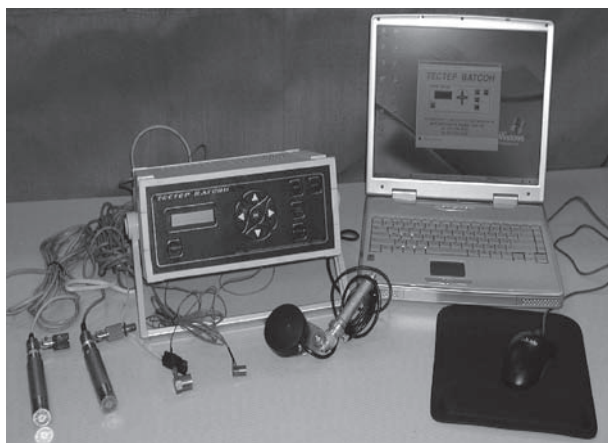


Рисунок 6 — Комплекс вибродиагностики и мониторинга технического состояния механических приводов

**Инновационная стратегия дальнейшего развития новых методов и средств неразрушающего контроля и технической диагностики.** В ее основе лежит, прежде всего, развитие наиболее перспективных направлений научных исследований, нацеленных на решение практических задач с учетом их востребованности различными отраслями народного хозяйства. Перечислим ряд таких проблем.

Для машиностроительных предприятий перспективна разработка новых методов и средств контроля:

- дефектов сплошности литья и несущих литосварных металлоконструкций (в т. ч. большегрузных автомобилей). Перспективно как развитие акустических методов и средств контроля, так и разработка отечественного промышленного рентгеновского томографа для трехмерной визуализации отливок, дефектоскопии и размеромерии сложнопрофилированных изделий;

- дефектов сварных соединений, как сложных по геометрии (фланцы картера заднего моста автомобилей, рамные конструкции кузовов дорожных машин и т. д.), так и выполненных специальными способами сварки (диффузионной, электрошлаковой, электронно-лучевой и др.);

- структуры чугунов в условиях производства с целью их разбраковки по маркам (серый, высокопрочный и др.);

- качества сцепления разнородных материалов (например, дефектов наплавов баббитовых подшипников и др.);

- глубины и твердости поверхностно упрочненных слоев (после закалки ТВЧ, цементации и других видов химико-термической обработки);

- внутренних механических напряжений, в т. ч. средств контроля затяжки резьбовых соединений, на базе методов акустической тензометрии;

- деградации физико-механических свойств металлов на базе развиваемых в Институте контактно-динамического и других методов.

Для строительной отрасли, где в ближайшие годы прогнозируется высокая инвестиционная активность:

- развитие принципов, математических алгоритмов, программного обеспечения, разработка датчиков, средств передачи, обработки и отображения многосенсорной информации для систем мониторинга технического состояния несущих строительных конструкций высотных и большепролетных зданий и сооружений;

- развитие метода динамического индентирования применительно к контролю трещиностойкости и ударной вязкости строительных материалов (бетонов, асфальтобетонов и др.). Будут установлены закономерности трещинообразования в конструкционных сталях при их локальном динамическом деформировании жесткими инденторами, разработаны вычислительные методики оценки характеристик разрушения материалов, основанные на анализе изменения упругих деформаций при микроударном деформиро-

вании, а также разработаны установки для контроля трещиностойкости строительных материалов.

Для атомно-силовой и оптической микроскопии биологических объектов:

- разработка методик моделирования видеоизображений с выходов оптических и атомно-силовых микроскопов в целях диагностики новых материалов и биологических объектов, алгоритмов обнаружения и фильтрации объектов, оценки их параметров, построения траекторий выделенных объектов с оценкой параметров их движения, классификации объектов по заданным признакам, пакета прикладных программ по автоматической обработке видеоизображений, реализующих полученные алгоритмы.

Для микроэлектроники:

- создание сканирующего микроволнового микроскопа для локального контроля электрофизических свойств полупроводниковых материалов интегральных микросхем, совмещающего функции как атомно-силовой, так и СВЧ-микроскопии.

Для аэрокосмической отрасли (прежде всего для НПО ЭНЕРГОМАШ им. академика В.П. Глушко и других предприятий Федерального космического агентства, Россия):

- разработка электронного пондеромоторного толщиномера защитных никелевых покрытий в труднодоступных местах турбинных лопаток;
- разработка термоэлектрического толщиномера защитных никелевых покрытий на подложках из нержавеющей сталей ферритного класса;

- разработка аппаратуры для контактно-динамического контроля комплекса физико-механических свойств специальных материалов (фторопластов, углепластиков и др.).

Для мониторинга состояния ионосферы будут разработаны новые метод, алгоритм и пакет прикладных программ для реконструкции в реальном времени полей концентрации электронов в ионосфере над территорией Республики Беларусь с использованием данных от низкоорбитальных (ГОНЕЦ/ТРАНЗИТ) и высокоорбитальных (ГЛОНАСС/GPS) навигационных спутниковых систем. Мониторинг состояния ионосферы позволит повысить устойчивость радиосвязи, повысить достоверность прогнозирования природных явлений.

Экономический эффект от использования разрабатываемых методов, приборов и технологий неразрушающего контроля и техническая диагностика будет достигнут за счет: повышения качества и конкурентоспособности продукции; импортозамещения; решения проблем энерго- и ресурсосбережения; предотвращения возможных аварий; обоснованного увеличения срока эксплуатации промышленных объектов; экспорта наукоемких приборов и технологий.

#### Список литературы

1. Неразрушающий контроль и диагностика: справ. / В.В. Ключев [и др.]. — М.: Машиностроение, 2003. — 656 с.

---

Migun N.P.

#### **New developments in the nondestructive testing of quality for industrial products**

The article shows the role of nondestructive testing and technical diagnostics in the solving problems to improve the quality and competitiveness of industrial products, the reliability and safety of complex technical systems. A brief description of the most important developments in this area carried out in recent years in Belarus was shown. Discusses innovative strategies for further development of new methods and nondestructive testing and technical diagnostics.

*Поступила в редакцию 01.08.2012.*