

УДК 620.179.111  
РАБОТЫ ИНСТИТУТА ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН БЕЛАРУСИ  
В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ  
И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Н. П. МИГУН, С. А. НОВИКОВ  
Государственное научное учреждение  
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси (ИПФ НАН Беларуси) является ведущей научной организацией в республике в области развития физических методов и средств неразрушающего контроля и технической диагностики (НК и ТД). В последние годы в институте получены новые научные результаты в области физики неразрушающего контроля, разработки высокоэффективных магнитных, акустических, капиллярных, радиоволновых, контактно-динамических, рентгеновских и других методов НК и ТД, развития информационных технологий НК и ТД.

Поскольку важнейшим приоритетом в стране является **машиностроение**, то важное значение имеет контроль ответственных машиностроительных деталей и узлов, например, деталей блока цилиндров дизельного двигателя. На основе установленных закономерностей распространения подповерхностных ультразвуковых волн в многослойных средах разработана аппаратура для ультразвукового контроля дефектов поршней дизельных двигателей широкой номенклатуры типоразмеров на различных стадиях технологического процесса изготовления поршней. Аппаратура эффективно используется на моторных заводах Беларуси и России.

На основе изучения характера перемагничивания структурно неоднородных стальных и чугуновых изделий, имеющих дефекты сплошности, предложена эффективная методика и вихретоковый прибор с 16-ю измерительными преобразователями, которые используются в составе автоматизированной установки для 100 % контроля металлургических дефектов гильз дизельных двигателей в потоке производства на Минском моторном заводе. Высокая достоверность контроля достигнута за счет оригинальной методики отстройки от влияния мешающих факторов (структурных неоднородностей материала, грубой поверхности). Совершенствование аппаратуры идет в направлении повышения достоверности при контроле разноориентированных дефектов, разработки методик и датчиков для бесконтактного контроля.

Учитывая значительный рост объемов применения в машиностроении чугуновых отливок со структурой высокопрочного чугуна и необходимость разбраковки от структуры серого чугуна, в институте разработаны

ультразвуковые приборы, основанные на анализе закономерностей распространения ультразвуковых волн в зависимости от структуры отливок, определяемой формой графитовых включений (шаровидная, пластинчатая и др.). Приборы нашли широкое применение на металлургических и машиностроительных предприятиях республики. Совершенствование приборов идет в направлении повышения достоверности, локализации зоны контроля, обеспечения возможности контроля при одностороннем доступе.

В связи с актуальной проблемой дефектоскопии и размеротрии сложнопрофилированных и крупногабаритных заготовок (отливки, поковки и др.) в институте разрабатываются информационные технологии реконструкции изображений в рентгеновской томографии, основанные на решении некорректных задач, возникающих при ограниченном угле обзора, недостаточной мощности источника излучения и малом числе проекций. Доведение этих работ до широкого коммерческого использования – разработки соответствующей томографической аппаратуры – требует инвестиций заинтересованных предприятий машиностроительного комплекса.

Разработанный в институте импульсный магнитный метод контроля и реализующая его аппаратура нашли широкое применение на крупнейших металлургических комбинатах СНГ, Германии для контроля структуры и механических свойств стального проката, движущегося в технологическом потоке производства со скоростью до 5 м/с. Развитие метода идет в направлении расширения номенклатуры контролируемых сталей, объектов контроля (поковки, заготовки металлорежущего инструмента и др.), повышения достоверности контроля за счет расширения числа информативных параметров.

Успешно решается задача ультразвукового контроля толщин поверхностно упрочненных слоев стальных деталей и заготовок, полученных закалкой ТВЧ, цементацией и др. Ультразвуковая аппаратура для контроля упрочненных слоев, основанная на использовании преобразователей с точечным контактом, уже нашла применение на предприятиях республики.

Разработаны новые способы повышения эффективности капиллярной дефектоскопии деталей с высокой шероховатостью поверхности, методики количественной оценки чувствительности наборов дефектоскопических материалов и результатов дефектоскопии, уникальные контрольные образцы для оценки качества дефектоскопических материалов.

Большое внимание в институте уделяется вопросам технической диагностики **электроэнергетического оборудования** (силовых трансформаторов, генераторов, электродвигателей и др.). Выполнены исследования характера электромагнитных процессов в электрических машинах, изучено влияние дефектов изоляции на переходные процессы в обмотках, установлены закономерности неоднородного перемангничивания электротехнических сталей и магнитопроводов электрических машин.

Разработан комплекс приборов для диагностики электрических машин: для бесконтактного контроля токов утечки высоковольтного оборудования; для диагностики силовых трансформаторов в условиях эксплуатации и ремонта; для диагностики параметров электрических машин постоянного тока; для наладки и диагностики установок фильтрокомпенсации реактивной мощности электрических сетей и силового оборудования; для контроля витковых замыканий обмоток электрических машин; для измерения магнитных характеристик и электромагнитных потерь электротехнической стали, для измерения магнитных полей. Партии приборов переданы по договорам на предприятия и службы Белорусской железной дороги, на Минский электротехнический завод им. В.И.Козлова и др. В настоящее время завершаются работы по созданию для МЭТЗ им. В.И.Козлова уникальной магнитоизмерительной целолитовой установки для технологического контроля магнитных характеристик и электромагнитных потерь электротехнической стали.

Одна из наиболее перспективных в настоящее время областей – **строительная отрасль**, где прогнозируется высокая инвестиционная активность. Здесь институтом выполняются работы в ряде направлений. На основе установленной взаимосвязи между параметрами контактного взаимодействия жесткого индентора со строительными материалами (бетон, асфальтобетон, кирпич и др.) и их прочностными характеристиками предложена методика контактно-динамического контроля прочности материалов, основанная на ее определении по динамической твердости. Разработаны контактно-динамические приборы для измерения прочности бетонов и асфальтобетонов. Впервые метод динамического индентирования предложен в качестве нового направления для изучения и контроля трещиностойкости неметаллических материалов. Разработан прибор для контактно-динамического контроля механических свойств стальных металлоконструкций, который, в отличие от известных, обеспечивает контроль твердости и предела прочности с отстройкой от влияния шероховатости и жесткости конструкций, что позволяет расширить диапазон применимости прибора при контроле нежестких (тонкостенных) металлоконструкций.

Развиваются методы реконструктивной радиоволновой структуроскопии неоднородных диэлектрических сред. Разработан уникальный радиоволновый радар для выявления дефектов сплошности, включений, визуализации внутреннего строения бетонных стен, перекрытий, фундаментов, обнаружения пустот под дорожным покрытием, поиска объектов в почве; предложены эффективные методики повышения разрешающей способности радара при послойной визуализации внутреннего строения строительных объектов. Разрабатывается прибор для радиоволнового контроля влажности бетона и иных строительных материалов и смесей.

Разработан широкодиапазонный магнитный толщиномер защитных покрытий (никелевых, хромовых, лакокрасочных, полимерных (в том числе огнезащитных)) на стальных металлоконструкциях.

Указанные разработки нашли применение в промышленном, гражданском и дорожном строительстве республики.

Все большее внимание уделяется разработке **систем диагностики и мониторинга технического состояния потенциально опасных объектов** промышленности, строительства, энергетики. В институте 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. Они реализованы в системах мониторинга технического состояния несущих строительных конструкций ряда уникальных и высотных зданий и сооружений: культурно-спортивного комплекса «Минск-Арена», на возводимых объектах – высотном здании «Парус» Бизнес-Центра (г. Минск) и уникальном спортивном комплексе «Центр фристайла» (г. Минск), а также на ряде объектов ОАО «Газпром» (Россия).

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

Разработаны физическая модель и алгоритмы для расчёта многоэлементных источников постоянных магнитных полей на базе магнитожёстких и магнитомягких материалов, что позволило разработать и внедрить в ОАО «Белтрансгаз» двухкольцевую магнитную систему для очистных поршней магистральных газопроводов большого диаметра, которая по эффективности очистки газопроводов от ферромагнитных технологических загрязнений в 5–6 раз превосходит известные и применяемые ранее зарубежные аналоги.

Ведутся работы и для предприятий **авиакосмической отрасли**. Институтом в рамках программы Союзного государства «Космос-НТ» разработаны уникальные магнитные толщиномеры защитных покрытий ракетных двигателей: толстослойных (до 1000 мкм) никелевых покрытий, двухслойных покрытий (никель+хром), покрытий из слабомагнитной металлокерамики, а также меры толщин покрытий. Сертифицированные в России приборы и меры толщин покрытий внедрены на предприятиях

авиакосмической отрасли России (Инженерно-конструкторский центр сопровождения эксплуатации космической техники г. Санкт-Петербург, ОАО «Металлист-Самара» и др.). Разработана аппаратура для контактно-динамического контроля комплекса физико-механических свойств специальных материалов – фторопластов, углепластиков, применяемых в авиакосмической отрасли. В рамках программы Союзного государства «Космос-НТ» предложены методики и алгоритмы реконструкции полей концентрации электронов в ионосфере на основе данных навигационных спутников применительно к прогнозированию природных явлений, а также решению специальных задач.

Перспективные работы в области **научного приборостроения** ведутся в направлении разработки (совместно с УП «КБТМ-ИТЦ», ИТМО им. А.В.Лыкова НАН Беларуси и Филиалом НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл») уникального сканирующего радиоволнового микроскопа для диагностики электрических свойств полупроводниковых структур. Перспективны также работы по созданию методик, алгоритмов и программ обработки видеоизображений оптических и атомно-силовых микроскопов, разработке эталона слабых магнитных полей, а также эталонной установки и стандартных образцов для воспроизведения, хранения и передачи размера единиц удельных магнитных потерь и магнитной индукции в электротехнической стали.

Актуальные работы в области **медицинской диагностики** выполняются в части разработки методик и программного обеспечения для рентгеновского маммографа с целью получения высококачественных трехмерных изображений молочной железы в условиях пониженной лучевой нагрузки.

Ориентация на решение задач неразрушающего контроля и технической диагностики, направленных на потребности различных отраслей, является залогом устойчивой востребованности разработок института.