

В. А. ГАПАНОВИЧ, вице-президент ОАО "РЖД",  
 А. Х. ВОПИЛКИН, д-р техн. наук, Д. А. КОНОНОВ, инж., Д. С. ТИХОНОВ, инж.,  
 А. К. ГУРВИЧ, д-р техн. наук, А. Г. КАЗАНЦЕВ, д-р техн. наук, З. М. СЛАВИНСКИЙ, д-р техн. наук  
 (НПЦ "ЭХО+")

## Автоматизированные средства диагностирования объектов повышенной опасности методом многоакурсной акустической голографии

### Вводные замечания

К объектам повышенной опасности предъявляются жесткие (в ряде случаев неоправданно жесткие) требования в части отсутствия в них дефектов в виде внутренних и поверхностных несплошностей. Объясняется это невозможностью определения типа и фактических размеров выявленных дефектов с использованием современных методов НК. Подсознательно идя на перебраковку объектов с целью обеспечения безопасности их эксплуатации, к числу недопустимых относят дефекты различного типа (трещины, непровары, скопления и цепочки одиноких включений в сварных соединениях металлоконструкций, в осях и колесах подвижного состава, рельсах, сварных стыках рельсов и др.) независимо от их размеров [1].

Поэтому очевидна необходимость создания систем НК объектов, прежде всего повышенной опасности, с определением типа, координат расположения и размеров выявленных дефектов, а также методологии контроля, позволяющей оценить потенциальную опасность выявленных дефектов и рассчитать ресурс объекта до последующего диагностирования.

Именно этот подход положен в основу функционирования системы НК оборудования и трубопроводов реакторных установок АЭС на стадии эксплуатации [2]. Естественно, после создания таких систем потребуется определенный период времени для подтверждения и осмысления значимости такого подхода.

В 2005 г. НПЦ "ЭХО+" разработал и изготовил опытный образец системы диагностики колесных пар грузовых вагонов методом многоакурсной акустической голографии. Дальнейшее рассмотрение автоматизированных средств диагностики с оценкой ресурса будет дано на примере этой системы. Оси и колеса колесных пар (КП), с точки зрения безопасности являющиеся одними из самых ответственных конструктивных компонентов железнодорожного подвижного состава, при эксплуатации подвергаются интенсивным знакопеременным вращательно-изгибным циклическим нагрузкам, определяющим возможность возникновения усталостных повреждений. Ранее проводились расчеты за-

паса прочности новых (неизношенных) осей, но исследования кинетики развития дефектов в элементах колесных пар не проводились. Для своевременного выявления усталостных трещин и изъятия дефектных КП из эксплуатации уже более 50 лет используются ультразвуковые и магнитные методы НК.

Методология НК за прошедшие 50 лет практически не изменилась: оси с выявленными усталостными поперечными трещинами любых размеров бракуют и отправляют в металлолом. В то же время, как показывает длительный опыт эксплуатации подвижного состава, оси с неглубокими трещинами эксплуатируются десятилетиями, а излом осей с усталостными трещинами происходит при поражении трещиной 40—60 % сечения оси. Таким образом, действующая методология НК осей и колес предопределяет перебраковку осей, неоправданно снижая их ресурс. Перебраковка особенно часто происходит при проведении магнитопорошкового контроля согласно [1], когда бракуются оси КП с трещинами глубиной от 0,1 мм.

Специалистами в области прочности накоплен большой опыт по расчетам запаса прочности (остаточного ресурса) тяжелонагруженных металлоконструкций с дефектами. Исходными данными для такого расчета являются местоположение дефектов в конструкции, их тип и размеры. К сожалению, современные средства УЗК позволяют определить только условные размеры дефекта, значительно отличающиеся от реальных.

### Акустическая голография

Применение акустической голографии позволяет определить тип и измерить фактические размеры дефектов [3]. Акустическая голография — двухступенчатый способ получения изображения объекта. Он состоит из регистрации акустической голограммы на поверхности объекта, т. е. распределения акустического поля после его взаимодействия с несплошностями в объекте, и последующей обработки данных для восстановления волнового фронта на несплошностях. В процессе регистрации происходит сканирование объекта контроля с шагом порядка четверти длины волны. Далее путем

математической обработки совокупности А-сканов с учетом фазы принятого эхо-сигнала проводится восстановление акустического изображения несплошностей. В результате изображение имеет высокое качество вне зависимости от глубины залегания дефекта, что позволяет с большей точностью оценить истинные местоположение и размеры дефектов.

Акустическая голография в сочетании с последующим прочностным расчетом получила широкое применение при контроле сварных швов потенциально опасных объектов АЭС, газопроводов, нефтепроводов и других ответственных объектов. Возможности голографии позволяют с большей достоверностью интерпретировать результаты поискового контроля: порядка 95 % сварных швов, забракованных при проведении "традиционного" УЗК, были разбракованы по результатам проведения автоматизированного УЗК с применением голографических систем [2].

При разработке первой в мировой практике системы автоматизированного УЗК (АУЗК) колесных пар вагонов методом многоакурсной акустической голографии, в частности, были проведены:

- структурирование (с учетом новых функциональных возможностей акустической голографии) новой схемы прозвучивания, позволяющей выявлять трещины в осях при расположении искателей (преобразователей) на средней части оси;
- разработка и изготовление специализированных ПЭП;
- разработка (с привлечением ведущих специалистов в области прочности металлоконструкций) на базе теоретических расчетов и экспериментов с применением пресс-пульсатора программы компьютерного моделирования развития усталостной трещины в оси.

Система состоит из установочного стенда и передвижной стойки (рис. 1) и предназначена для выявления следующих типов дефектов.

**В осях:** поперечные трещины на цилиндрических поверхностях и в галтелях шеек, предподступичных и подступичных частях; поперечные и продольные трещины в средней части оси.

**В колесах:**

- в ободе: выщербины; поверхностный откол у наружной грани обода; откол кругового наплыва; продольные трещины; поперечные единичные трещины; сетка термических трещин; подповерхностные дефекты, связанные с несплошностью металла; внутренние несплошности в металле;
- в диске: продольные трещины (включая приободную и приступичную зоны);
- в гребне: внутренние несплошности в металле; термические трещины; поперечные усталостные трещины.

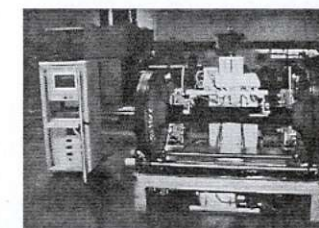


Рис. 1. Общий вид системы АУЗК колесных пар



Рис. 2. Колесная пара с дефектом в оси; указан ресурс оси, рассчитанный с учетом данных УЗК

Примечательно, что при НК колесных пар ввод ультразвука осуществляется со средней части оси, а также с поверхности катания, внутренней грани обода и внутренней поверхности диска колеса. Поэтому диагностика может осуществляться при трех состояниях колесных пар:

- с демонтированными внутренними кольцами подшипников;
- без демонтажа внутренних колец подшипников;
- без демонтажа буксового узла.

При подготовке КП к контролю проводится очистка и проверка состояния участков поверхностей КП, через которые вводится ультразвук. При этом очищаются от загрязнений средняя часть оси, внутренняя поверхность ободьев и дисков колес; удаляются отслоения и наплывы краски; обточкой поверхности катания ободьев колес удаляются нарушения поверхности катания, недопустимые согласно [6].

Диагностика колесных пар вагонов является трехуровневой: первый уровень — поиск дефектов; второй — измерение размеров дефектов с применением вычислительной акустической голографии; третий — расчет остаточного ресурса по разработанной методике.

Результатом диагностики дефектной КП является ее остаточный ресурс (рис. 2) при некоторых исходных данных и заданных условиях эксплуатации подвижного состава.

### Контроль осей

Для контроля оси применяются двенадцать ПЭП, работающих на частотах 1,25—5,0 МГц по совмещенной схеме. Из них восемь — для обнаружения поперечно ориентированных дефектов во всех частях оси и четыре — для обнаружения продольно ориентированных дефектов в средней части (рис. 3). ПЭП, предназначенные для обнаружения поперечно ориентированных дефектов, излучают волны под углами ввода 40—72° к середине оси и в сторону шеек, чем обеспечивают ее сплошной контроль от торца правой шейки до торца левой шейки.