

УДК 621.791.05:620.179

Н. В. Абабков, доцент, к.т.н. (КузГТУ)  
А. Н. Смирнов, профессор, д.т.н. (КузГТУ)  
М.С. Никитенко, доцент, к.т.н. (КузГТУ)  
П.В. Оленич, магистрант гр. ТСм-161, I курс (КузГТУ)  
г. Кемерово

## **ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ОБОРУДОВАНИЯ ТЭК**

### **Введение**

В настоящее время большая часть оборудования топливно-энергетического комплекса (ТЭК) морально устарела и отработала свой ресурс. Сейчас для оценки качества и надежности объекта контроля и его элементов, без выведения его из эксплуатации или демонтажа применяют различные физические методы неразрушающего контроля (НК). Однако многие традиционные методы НК применяемые для оценки состояния оборудования ТЭК имеют ряд существенных ограничений, главное из которых – все эти методы позволяют уверенно выявить уже образовавшиеся, сравнительно крупные дефекты, кроме того большую роль при их обнаружении играет человеческий фактор. Для оценки остаточного ресурса оборудования ТЭК необходим его постоянный контроль и мониторинг.

В рамках утвержденной Правительством РФ в 2012 году Долгосрочной Программы развития угольной промышленности России на период до 2030 года предусматривается значительная интенсификация производства в топливно-энергетическом комплексе. Ставятся задачи кардинального повышения производительности труда, модернизации и обновления производственных мощностей по добыче угля. При этом упор делается на импортозамещение и развитие собственной машиностроительной базы, обеспечение мировых стандартов в области промышленной и экологической безопасности, снижение аварийности, повышение уровня автоматизации [1].

Модернизация существующих и создание новых, более производительных и безопасных элементов оборудования ТЭК в рамках утвержденной стратегии неосуществимо без обеспечения постоянного мониторинга воспринимаемых ими нагрузок, контроля эксплуатационных режимов и его технической диагностики [2, 3]. Данные мероприятия необходимы для своевременного выявления наиболее нагруженных (изношенных) элементов оборудования, оценки остаточного ресурса, установления возможности их восстановления [1].

Несвоевременная или необъективная диагностика технического состояния и остаточного ресурса конструкций и оборудования может привести к преждевременному выходу их из строя и серьезным авариям.

В связи с этим актуальными задачами являются [1]:

1. Определение и разработка эффективных методов технической диагностики (контроля состояния) элементов оборудования ТЭК в процессе эксплуатации, прогнозирования ресурса ответственных изделий, который определяется состоянием металла и формируется на протяжении всего жизненного цикла объекта контроля (изделия, оборудования, конструкции);

2. Разработка технических средств для постоянной и периодической эксплуатационной диагностики для выявления наиболее нагруженных единиц элементов оборудования ТЭК на базе выбранных методов;

Перспективными в отношении постоянного контроля и мониторинга являются системы акустической структурометрии [2] и тензометрии [8]. Применение данных методов позволит проводить техническую диагностику и оценку напряжений в наиболее ответственных элементах конструкций ТЭК в условиях эксплуатации, осуществлять оценку эксплуатационных режимов для выявления наиболее нагруженных узлов и единиц техники на протяжении всего срока службы [3–7].

Таким образом, цель работы заключается в повышении эффективности оценки остаточного ресурса и состояния металла оборудования ТЭК путем разработки систем мониторинга методами неразрушающего контроля.

### **Методики и материалы исследований**

Опытным объектом контроля являлся передний рычаг механизированной секции МКЮ2У.29.01. Для оценки напряженно-деформированного состояния шахтных крепей в сборе проводятся стендовые испытания под нагрузкой при разных режимах закрепления, прямом, косом, кручении, при которых проводится поэлементная проверка соответствия расчетных параметров с экспериментальными.

Основным методом исследований являлся спектрально-акустический и измерительно-вычислительный комплекс "АСТРОН" (рис. 1) [3–7], который позволяет проводить прецизионные измерения времени распространения (задержек) и отношения размахов ультразвуковых импульсов (коэффициент затухания), распространяющихся в материале исследуемого объекта и который предназначен для оценки физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния материала ответственных элементов различных технических объектов [4].

В основу работы аппаратной части комплекса положен способ учета всей серии отраженных акустических импульсов для последующей ее обработки средствами программного обеспечения комплекса. В обрабатывающую часть системы производится последовательное преобразование осциллограммы отраженных импульсов с определенным шагом дискретизации с момента зондирования исследуемого материала и до прихода  $n$ -го отраженного импульса для передачи первичной акустической информации. С комплексом «АСТРОН» используются преобразователи поверхностных волн, которые представляют собой выполненные в одном

корпусе излучатель и приемник волн. В настоящей работе использовался преобразователь на 4 МГц с базой 18 мм (рис. 2).

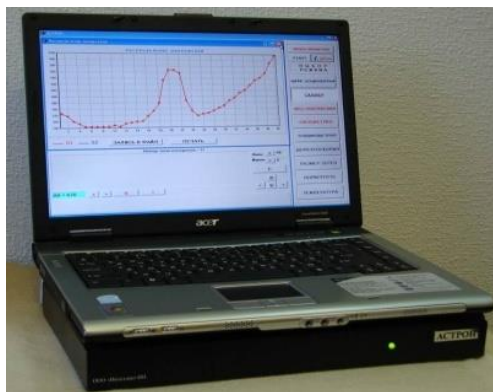


Рис. 1. Внешний вид системы измерительно-вычислительного комплекса «АСТРОН»

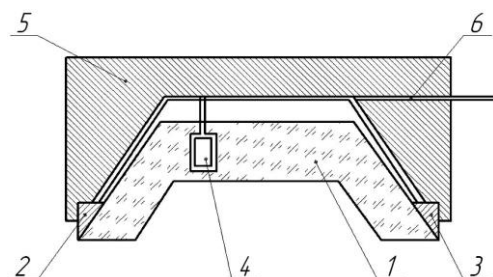


Рис. 3. Малобазный релеевский датчик:

- 1 – двусторонний клин из оргстекла; 2 – излучатель релеевских волн;  
3 – приемник релеевских волн; 4 – излучатель-приемник термоимпульсов;  
5 – корпус; 6 – высокочастотный кабель

Датчик состоит из двустороннего клина из оргстекла 1 с углом ввода ультразвука  $27^\circ$  (для объектов контроля из стали), излучателя 2 и приемника 3 релеевских волн с центральной частотой 5 МГц. База (расстояние между поверхностями излучения и приема) может варьироваться в широких пределах в зависимости от геометрических размеров зон измерения.

Данные полученные с помощью ИВК «АСТРОН» сравнивались с показаниями тензометрической системы для проверки адекватности. Тензометрические системы позволяют проводить техническую диагностику, выявление и оценку напряжений в наиболее ответственных элементах конструкций ГДО в условиях эксплуатации, осуществлять оценку эксплуатационных режимов для выявления наиболее нагруженных узлов и единиц техники.

Согласно расчета эксплуатационных нагрузок, при работе в составе крепи, воспринимает сжимающие деформации в точках 1-3 с усилием 2400-3000 кгс/см<sup>2</sup>, которые соответствуют нагрузке в 500 тонн, приложенной в направлении продольной оси в местах установки шарнирных пальцев (рис. 3).

В этих точках был установлен датчики многоканальной тензометрической системы и ИВК «АСТРОН» при эксплуатационном мониторинге.

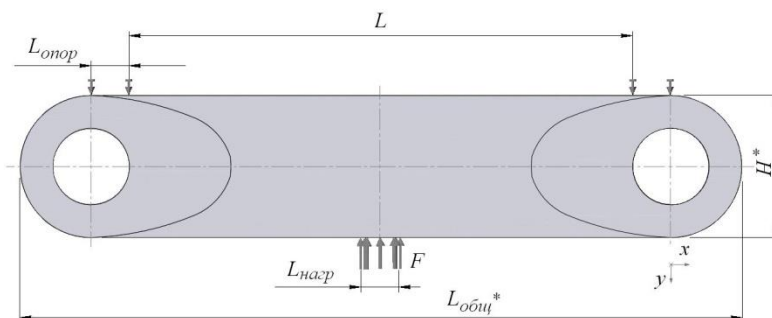


Рис. 3. Схема нагружения рычага механизированной секции МКЮ2У

### Результаты исследований и их обсуждение

Результаты, полученные спектрально-акустическим методом и при помощи тензометрической системы, представлены на рис. 4. С увеличением нагрузки наблюдается линейное увеличение, как времени задержки поверхностной акустической волны, так и показателей тензометрической системы. При этом коэффициент корреляции составил  $R = 0,986592$ .

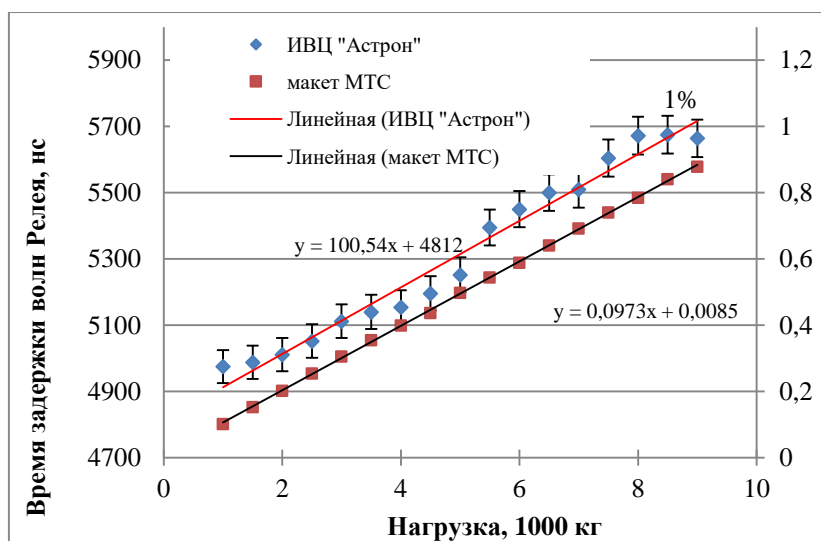


Рис. 4. Изменение сигналов с макетного образца от нагрузки на рельсовой балке на макете тензометрической системы и на измерительно-вычислительном комплексе «АСТРОН»,  $R = 0,986592$

В связи с тем, что при стендовых испытаниях нагрузка прикладывалась и возрастала циклически (линейный характер изменения), то можно предположить, что характеристики, измеряемые спектрально-акустическим методом будут также иметь линейную зависимость. Данное предположение подтверждается графиком (рис. 4), на котором виден разброс значений для спектрально-акустического метода, однако при его чувствительности (100нс/1000кгс) погрешность не превысила 0,1%. Линейная динамика изменения времени задержки волн Релея характеризуется коэффициентом корреляции данных  $R =$

0,986592 и определяет деформации балки при нагружении стенда как прямо пропорциональные к приложенной нагрузке.

Таким образом, полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о возможности применения спектрально-акустического метода контроля для мониторинга состояния металла конструкций, в том числе для оценки напряженно-деформированного состояния.

### Список литературы

1. Никитенко, М.С. Разработка комплекса средств технической диагностики, восстановления и упрочнения элементов горнодобывающего оборудования / М. С. Никитенко, К. В. Князьков, Н. В. Абабков и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № S6. – С. 447–456.
2. Бутусов, Д. С. Мониторинг и управление напряжённо-деформированным состоянием технологических трубопроводов компрессорных станций как средства снижения уровня риска аварии от дефектов, вызванных коррозионным растрескиванием под напряжением / Д.С. Бутусов, Д.Г.Репин, С.Л.Перов и др. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – № 3 (93). – С. 88–97.
3. Осипов, К. О. комплексный контроль напряженно-деформированного состояния крупногабаритных металлоконструкций на основе акустико-эмиссионного и магнитного методов неразрушающего контроля / К. О. Осипов, Т.Р. Загидулин, Р.В. Загидулин // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции "Реальность – сумма информационных технологий". – 2015. – С. 125–129.
4. Смирнов, А. Н. Разрушение и диагностика металлов / А. Н. Смирнов, В. В. Муравьев, Н. В. Абабков. – Москва-Кемерово: Инновационное машиностроение, 2016. – 479 с.
5. Смирнов, А. Н. Микроструктура, акустические характеристики и поля внутренних напряжений в поврежденном металле барабана котла ПК-10 до и после ремонта сваркой / Смирнов А. Н., Козлов Э. В., Конева Н. А. и др. // Сварка и диагностика, 2011. – №3. – С. 39–42.
6. Абабков, Н. В. Оценка работоспособности и ресурса металла потенциально-опасного оборудования ТЭС после длительной эксплуатации спектрально-акустическим методом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (110). – С. 53–59.
7. Смирнов, А. Н. Анализ проблем, связанных с безопасной эксплуатацией элементов энергетического машиностроения / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 2. – С. 12–17.
8. Муравьев, В. В. Акустическая тензометрия и структуроскопия железнодорожных колес: монография / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, В. А.

Стрижак и др. Отв. ред. В.В. Муравьев. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2014. – 180 с.