

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.791.05:620.179

### НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛА ПАРОВЫХ ТУРБИН. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Быкова Наталья Владиславовна,**  
аспирант, e-mail: natalie.vrb91@mail.ru

**Аббков Николай Викторович,**  
кандидат техн. наук, доцент, e-mail: n.ababkov@rambler.ru

**Смирнов Александр Николаевич,**  
доктор техн. наук, профессор, e-mail: galvas.kem@gmail.com

**Быков Иван Сергеевич,**  
магистрант, e-mail: ivanbykov777@mail.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

#### **Аннотация**

*Методы неразрушающего контроля металла роторов паровых турбин, применяемые в настоящее время, неэффективны для обнаружения дефектов на ранней стадии их развития. В связи с этим актуальной становится задача совершенствования методов неразрушающего контроля для оценки состояния металла. В статье рассмотрены основные параметры, которые необходимо измерить для прогнозирования состояния объектов диагностики, традиционные методы неразрушающего контроля по выявлению дефектов и обнаружению внутренних повреждений в металле турбин. Также в статье приведены примеры наиболее современных методов и средств диагностики, основанных на выявлении «преддефектного» состояния металла длительно работающего оборудования. Основываясь на проведенные исследования с уверенностью можно сказать, что необходим переход от традиционной дефектоскопии к технической диагностике металла роторов паровых турбин с использованием новых методов и средств контроля.*

**Ключевые слова:** ротор паровой турбины, неразрушающий контроль, преддефектное состояние, прогнозирование состояния.

В настоящее время в России более 80 % (в энергетике более 90 %) промышленного оборудования отработало свой расчетный срок. Разрушения технических устройств или их элементов могут привести и приводят к крупным техногенным катастрофам с человеческими жертвами, поэтому особенно актуальной является задача обеспечения (управления) безопасной эксплуатации потенциально опасного оборудования [1–3]. Металл элементов энергетического оборудования (таких, как роторы паровых турбин) работает в критических условиях: при высоких температурах и при воздействии высоких напряжений, вызванных усилиями самокомпенсации и массовыми нагрузками.

При анализе технического состояния металла турбин используется следующая информация [4, 5]:

- сведения о режиме эксплуатации, повреждениях, замена отдельных элементов оборудования, восстановительном ремонте, результатах контроля металла в течение всего срока эксплуатации;
- данные неразрушающего контроля;
- результаты исследования структуры и свойств металла;

• результаты анализа расчетной оценки напряженного состояния и остаточного ресурса с учетом фактических данных о свойствах металла и режимах эксплуатации.

Для турбин мощностью более 200 МВт критическими элементами, определяющими ресурс, являются роторы высокого давления (ВД), среднего давления (СД) и литые корпусные детали, эксплуатируемые при температурах и напряжениях, при которых в металле наблюдаются процессы накопления повреждений по механизмам ползучести и малоциклового усталости [6].

Для поиска дефектов и прогнозирования состояния объектов диагностики в целях устранения возможных аварий и катастроф необходимо измерять большое число диагностических параметров [7].

*Физические параметры разделяют на следующие группы:* кинематические, геометрические, статические, динамические, тепловые, акустические, электрические и магнитные, механические, атомно-физические, а также основанные на молекулярных свойствах веществ, излучений. Измерение физических параметров положено в основу различных методов и средств технической диагностики, с по-

мощью которых анализируется состояние объекта. Наиболее существенными в практике технической диагностики являются параметры надежности и живучести объекта, находящиеся в функциональной зависимости от измеренных значений, полученных при реализации методов: электрометрии, виброакустики, дефектоскопии, структуроскопии, интроскопии, измерении механических свойств, состава вещества, размеров, скоростей, ускорений, сил, деформаций, давлений, температуры, времени, массы, влажности, расхода и уровня [7].

Рассмотрим наиболее известные методы неразрушающего контроля, применяемые в настоящее время в промышленных условиях для обнаружения дефектов и повреждений в металле турбин.

В целях выявления различно ориентированных дефектов в теле ротора применяют ультразвуковой контроль (УЗК) объёмными волнами, а для обнаружения дефектов на поверхности осевого канала наиболее эффективен токовихревой контроль (ТВК), который сочетает в себе ряд преимуществ: бесконтактность, многопараметровость и высокую производительность [8].

Отечественные и зарубежные исследования показали, что один из наиболее перспективных неразрушающих методов эксплуатационной диагностики трещин – метод акустической эмиссии (АЭ) [9, 10].

В основу такого приложения акустико-эмиссионного метода легло предположение о возможности анализа сигналов АЭ, генерируемых дефектами при колебаниях ротора, как спектра вторичных частот, наложенных на резонансную частоту колебаний ротора по собственным формам [11, 12].

Инструкция РД10-262-98 (РД 153-34.1-17.421-98) содержит перечень обязательных к исполнению нормативно-технических документов, среди которых значатся «Рекомендации по контролю методом отливок» (М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1969). Согласно этим рекомендациям, а также опубликованным в технической литературе статьям, основным методом неразрушающего контроля микроструктуры считается исследование металла при помощи реплик (отливок). В качестве материала реплик рекомендованы полистирол, рентгеновская пленка и лента для магнитной записи. На поверхность этих материалов наносят соответствующий растворитель – дихлорэтан, бензол или ацетон. После этого материал прижимают к поверхности заранее подготовленного на гире или роторе шлифа и выдерживают до высыхания растворителя. Готовую реплику отделяют от шлифа и исследуют на стационарном металлографическом микроскопе [13].

Однако такая практика получения реплик свидетельствует, что отливки имеют низкую воспроизводимость и не всегда адекватно отображают

исследуемую микроструктуру. Наносимое на поверхность, например, полистирола кисточкой или пипеткой количество растворителя мало, тем более, что растворитель быстро испаряется. В результате на поверхности образуется очень тонкий слой разжиженного полимерного материала, которого недостаточно для заполнения всех микровыступов и микровпадин, т.е. для адекватного воспроизведения микроструктуры [13].

Необходимость в 100 %-ном обследовании оборудования при оценке ресурса не вызывает сомнений, однако для реализации этой задачи на практике требуются большие затраты времени и материально-финансовых средств. С помощью традиционных методов неразрушающего контроля решить ее невозможно [16].

Традиционные методы и средства неразрушающего контроля направлены, как известно, на поиск и нахождение конкретного дефекта. При этом определение размеров дефектов (глубина залегания, протяженность), расположенных в объеме основного металла или в металле сварного соединения, является сложной задачей. Однако, если размеры дефекта определены (современные дефектоскопы позволяют это сделать), то необходимо оценить степень его опасности и решить развивается дефект или нет. Для этого следует сделать поверочный расчет на прочность данного узла с учетом размеров дефекта. Очевидно, что обычно такие расчеты не выполняются. Поэтому существующие нормы по допустимости дефектов, выявляемых УЗД, рентгеном и другими методами, основаны преимущественно на статистических данных и в большинстве инструкций носят условный характер. Научно обоснованных норм по допустимости размеров дефектов с точки зрения механики разрушений и прочности оборудования в широкой практике не существует [16].

Следует отметить непригодность традиционных методов неразрушающего контроля для определения дефектов на раннем этапе их развития. Последнее становится все более важным, так как во многих случаях более опасным (особенно на стареющем оборудовании) является «преддефектное» состояние металла, когда в его структуре произошли необратимые изменения, и повреждение из-за усталости может возникнуть внезапно и, чаще всего, в тех зонах, где оно не ожидается. Уровень чувствительности традиционных методов неразрушающего контроля не позволяет выявить такое «преддефектное» состояние металла [16].

В настоящее время при оценке ресурса оборудования широко используются методы и средства неразрушающего контроля структурно-механических свойств металла (измерение твердости, коэрцитивной силы и других магнитных характеристик металла, взятие «реплик» для определения структурных изменений и другие методы). Разработаны и применяются на практике комплексные методы неразрушающего контроля фи-

зико-механических свойств металла, например, установки по совместному использованию магнитографического метода и метода кинетического индентирования [14], приборы и методы МЭИ для испытаний материалов вдавливанием или царапанием с целью экспресс-оценки механических свойств [15] и др.

Проведенные рядом авторов [8, 19] систематические исследования и полученные диагностические критерии параметров дефектов – трещин в металле роторов турбин наряду с разработкой механизмов доставки-сканирования поисковых систем контроля и индикаторно-анализирующих компьютерных программных средств в совокупности позволили создать специализированный дефектоскопический роботизированный комплекс аппаратуры "РОТОР-К" для контроля роторов турбин ТЭС со стороны осевого канала.

Комплекс "РОТОР-К" предназначен для автоматизированного контроля металла ротора со стороны осевого канала визуальным, вихретоковым и ультразвуковым методами и измерения геометрических размеров канала. Аппаратура обеспечивает выявление, компьютерный анализ, регистрацию местоположения и параметров несплошностей и неоднородностей как в поверхностном слое, так и в толще металла ротора. Внешний вид комплекса представлен на рис. 1 [19].

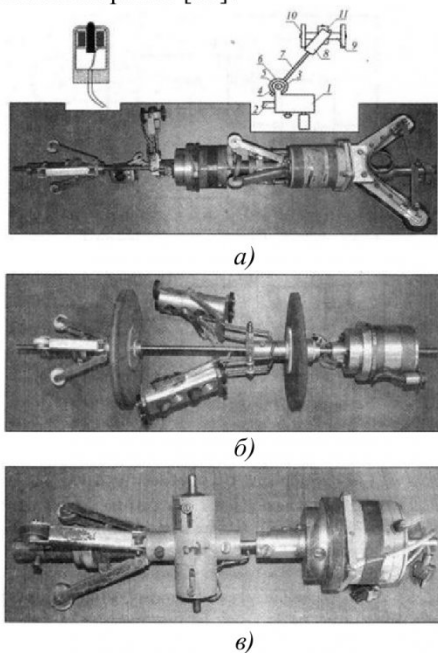


Рис. 1. Транспортно сканирующий механизм комплекса «РОТОР-К»: а – с вихретоковым и визуаль-но-оптическим сканирующим модулем; б – ультразвуковой сканирующий модуль; в – измерительный сканирующий модуль

В настоящее время новый комплекс «РОТОР-К» полностью автоматизирован и управляется с помощью компьютера, на который поступает вся получаемая информация о контроле. Кроме того комплекс «РОТОР-К» может комплектоваться

измерительным модулем, определяющим диаметр осевого канала ротора для последующей оценки размеров деформации ползучести ротора. В настоящее время комплекс успешно применяется для контроля осевых каналов роторов паровых турбин.

Аналогичные разработки велись и в ВТИ: был создан рабочий макет вихретокового оптического сканера [20] под условным названием ВТИ-СУ (рис. 2) который прошёл успешные испытания на Ставропольской ГРЭС, Киришской ГРЭС, Василеостровской ТЭЦ, Ново-Рязанской ТЭЦ, однако распространения в силу ряда причин не получил. В Московском государственном университете приборостроения и информатики (МГУПИ) разработан комплекс «ЗОНД-КРОТ» (рис. 3), позволяющий проводить вихре-токовый и оптико-телевизионный контроль [21]. На электростанциях этот комплекс практически не применялся и в настоящее время используется в качестве действующей модели для обучения [8].

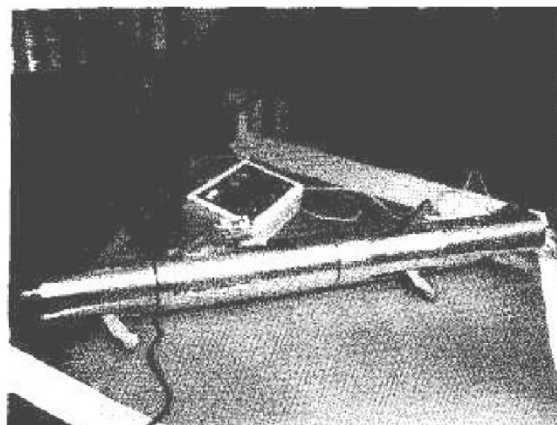


Рис. 2. Комплекс ВТИ-СУ

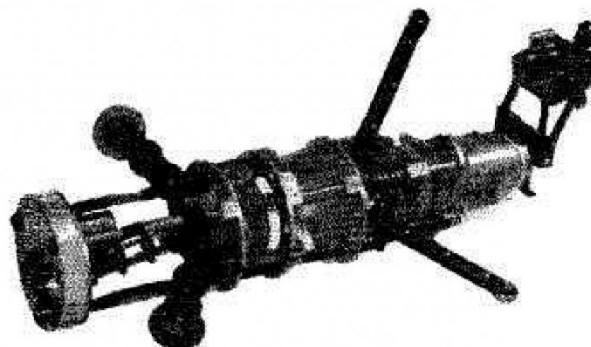


Рис. 3. Комплекс «ЗОНД-КРОТ»

Применение существующих методов неразрушающего контроля повреждений и деградации металла при оценке ресурса промышленного оборудования малоэффективно. Поэтому необходим переход от традиционной дефектоскопии к технической диагностике с использованием принципиально новых подходов и методов контроля [16].

На сегодняшний день наиболее перспективными методами эксплуатационной диагностики явля-



ются спектрально-акустический метод, магнитошумовой метод и магнитный метод, основанный на измерении коэрцитивной силы [22, 23]. Также для своевременного обнаружения развития дефектов все чаще используются и совершенствуются специализированные дефектоскопические роботизированные комплексы. Остановимся на указанных методах и средствах более подробно.

При длительной эксплуатации потенциально опасного оборудования в сложных напряженных условиях в металле происходят разнообразные физико-химические процессы, приводящие к распаду структурных составляющих, образованию и накоплению микроповреждений и в конечном итоге к разрушению технических устройств или их элементов [17].

Измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «АСТРОН» (рис. 4) предназначен для оценки физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния материала ответственных элементов различных технических объектов.

Измеряемые этим методом характеристики, такие как время задержки поверхностных акустических волн, чувствительны к изменениям структуры длительно работающего металла и зарождению микроповреждений, а также имеют связь с механическими свойствами материалов.



Рис. 4. Внешний вид ИВК «АСТРОН»

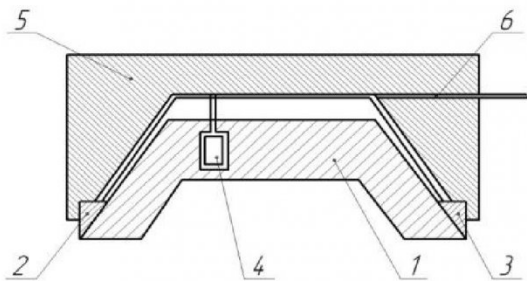


Рис. 5. Малобазный релеевский датчик:  
1 – двусторонний клин из оргстекла; 2 – излучатель релеевских волн; 3 – приемник релеевских волн; 4 – излучатель–приемник термоимпульсов; 5 – корпус; 6 – высокочастотный кабель

В основу работы аппаратной части системы положен способ подробной регистрации всей се-

рии отраженных акустических импульсов для ее последующей обработки средствами программной части системы. Для передачи первичной акустической информации 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. С комплексом «АСТРОН» широко используются преобразователи поверхностных волн, представляющие собой выполненные в одном корпусе излучатель и приемник (рис. 5).

В [18] установлено, что время задержки волн Рэлея является одним из наиболее чувствительных параметров выявления поверхностных структурных несовершенств в металле. Показано наибольшее влияние локальных полей напряжений сдвига и кручения на характер изменения времени задержки поверхностных релеевских волн.

Магнитошумовой метод основан на измерении величины интенсивности магнитного шума. Принцип действия, применяемого при этом методе анализатора напряжений и структуры металлов основан на эффекте Баркгаузена – возникновении скачков намагниченности при перемагничивании ферромагнитного материала. Характеристики этих шумов непосредственно связаны со структурой материала и его состоянием. Анализатор осуществляет перемагничивание испытуемого материала и регистрацию интенсивности возникающего при этом магнитного шума (рис. 6, 7).

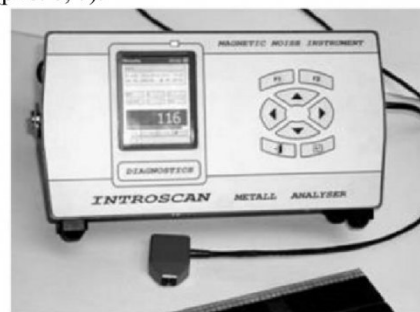


Рис. 6. Внешний вид анализатора

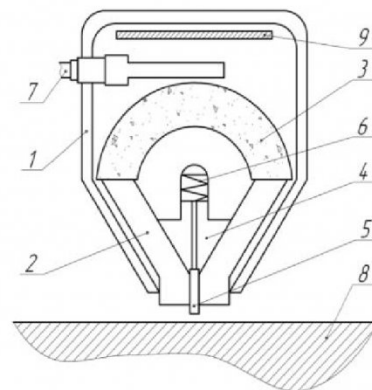


Рис. 7. Схема преобразователя (датчика) интенсивности магнитного шума:

1 – корпус; 2 – магнитопровод; 3 – обмотка; 4 – направляющая; 5 – измерительный преобразователь; 6 – пружина; 7 – провод; 8 – изделие; 9 – малошумящий усилитель

Для измерения магнитной характеристики (коэрцитивной силы) используется структуроскоп КРМ-Ц-К2М (рис. 8), основанный на измерении коэрцитивной силы по измеряемому току компенсации остаточной магнитной индукции в замкнутой магнитной цепи, составленной из магнитопровода, преобразователя (рис. 9) и стандартного образца или контролируемого изделия.



Рис. 8. Внешний вид магнитного структуроскопа КРМ-Ц-К2М:

1 – структуроскоп; 2 – преобразователь; 3 – карманный персональный компьютер

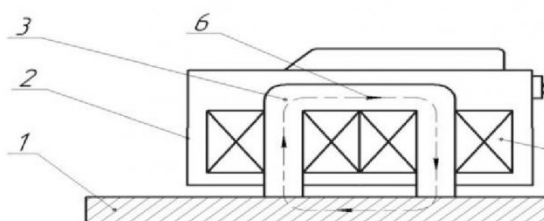


Рис. 9. Схема преобразователя:

1 – контролируемое изделие; 2 – корпус; 3 – сердечник; 4 – катушка; 5 – магнитопровод; 6 – направление тока компенсации остаточной магнитной индукции

Результаты измерений по беспроводной связи передаются в карманный персональный компьютер (КПК), который позволяет получать, обрабатывать и анализировать результаты измерений на объекте исследования в режиме “on-line”. Такой

подход позволяет в процессе контроля обратить внимание на детали, нуждающиеся в особо тщательной проверке.

Сотрудниками кафедры технология машиностроения КузГТУ в рамках конкурса «Участник Молодежного Научно-Инновационного Конкурса (У.М.Н.И.К.)» была разработана и изготовлена экспериментальная установка для диагностики роторов паровых турбин по осевому каналу с применением спектрально-акустического метода контроля [25] (рис. 10).

Для обеспечения устойчивости установки с обоих концов установки будет по три опоры в виде роликов, с помощью которых осуществляется продольное перемещение установки по осевому каналу. В центральной части установки располагаются три отверстия – канала. Через первый подается контактная жидкость, во втором расположен датчик, в третьем – губка для сбора контактной жидкости.

### ВЫВОДЫ

1. Традиционные методы неразрушающего контроля металла роторов паровых турбин непригодны для определения дефектов на раннем этапе их развития. Во многих случаях более опасным (особенно на стареющем оборудовании) является «преддефектное» состояние металла, когда в его структуре произошли необратимые изменения, и повреждение из-за усталости может возникнуть внезапно и, чаще всего, в тех зонах, где оно не ожидается. Уровень чувствительности традиционных методов неразрушающего контроля не позволяет выявить такое «преддефектное» состояние металла.

2. Необходим переход от традиционной дефектоскопии к технической диагностике металла роторов паровых турбин с использованием принципиально новых подходов и методов контроля. В настоящее время наиболее перспективными методами технической диагностики являются спектрально-акустический метод, магнитошумовой метод и магнитный метод, основанный на измерении коэрцитивной силы. Также для своевременного обнаружения развития дефектов все чаще используются и совершенствуются специализированные

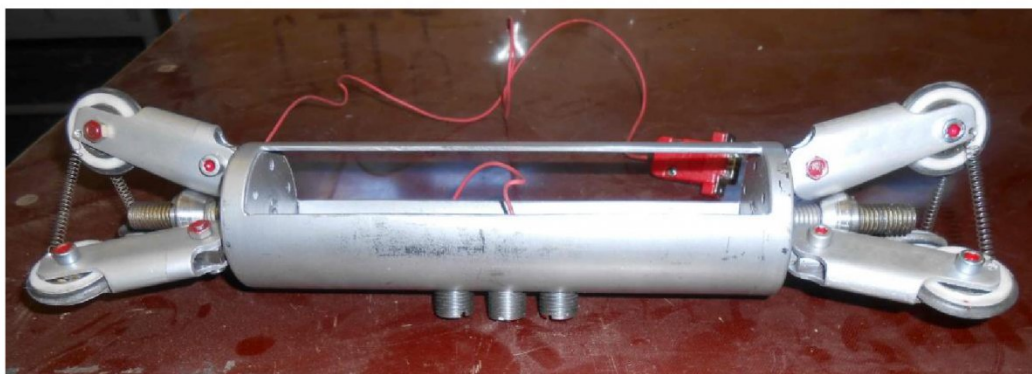


Рис. 10. Установка в сборе



дефектоскопические роботизированные комплексы.

3. Показано, что для контроля металла роторов паровых турбин по осевому каналу используются установки на основе традиционных методов контроля. Предполагается, что перспективным направлением контроля металла роторов паровых

турбин по осевому каналу станет использование специализированной установки с применением спектрально-акустического метода неразрушающего контроля.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ, соглашение № 14-19-00724.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов, А. Н. Комплексный подход к оценке работоспособности элементов энергетического оборудования / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков // Известия Самарского научного центра РАН, 2010. – Т. 12. – №1 (2). – С. 520–524.
2. Смирнов, А. Н. Микроструктура, поля внутренних напряжений и акустические характеристики металла разрушенного ротора паровой турбины / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, Э. В. Козлов и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2014. – Т. 57. № 10. – С. 67–71.
3. Смирнов, А. Н. Анализ повреждаемости роторов паровых турбин (обзор) / А. Н. Смирнов, Н. В. Быкова, Н. В. Абабков и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 2. – С. 38–47.
4. Резинских, В. Ф. Надежность и безопасность ТЭС России на современном этапе: проблемы и перспективные задачи / В. Ф. Резинских, Е. А. Гринь // Теплоэнергетика. – 2010. – № 1. – С. 31–37.
5. Резинских, В. Ф. Еще раз о ресурсе энергооборудования / В. Ф. Резинских // Надежность и безопасность энергетики. – 2009. – № 7. – С. 9–13.
6. Любимов, А. А. Анализ состояния металла паровых турбин по факторам безопасности и надежности / А. А. Любимов, А. И. Троицкий, В. И. Гладштейн // Теплоэнергетика. – 2013. – № 1. – С. 33–38.
7. Филинов, М. В. Подходы к оценке остаточного ресурса технических объектов / М. В. Филинов, А. С. Фурсов, В. В. Ключев // Контроль. Диагностика. – 2006. – № 8. С. 6–16.
8. Пчелкин, А. Б. Анализ систем диагностики роторов паровых турбин в России и Европейском союзе / А. Б. Пчелкин, А. А. Любимов // Энергетик. – 2013. – № 12. – С. 26–28.
9. Нагорных, С. Н. Излучение АЭ распространяющейся трещиной при усталости металлов / С. Н. Нагорных, Г. Ф. Сарафанов // В кн.: Тезисы докладов I Всесоюзной научно-технической конференции «Неразрушающие физические методы контроля». – Свердловск, 1990, Т. 2.
10. Acoustic Emission – Beyond the MILLENIUM (15<sup>th</sup> International Acoustic Emission Symposium) / Edited by Kishi T., Ohtsu M., Yuyama S. Oxford: Elsevier Science, 2000.
11. А. с. 1490304 (СССР). Способ определения дефектов горизонтально расположенного ротора турбомашин без вскрытия цилиндра / Ю. Л. Израилев, В. А. Лукьяненко, В. Ф. Злепко, Я. Д. Беркович, В. Н. Тиллиб, И. В. Кулешова. Оpubл. в Б. И., 1989, № 24.
12. Резинских, В. Ф. Методика неразрушающего контроля роторов среднего и низкого давления турбин ТЭС без снятия насадных дисков при ремонте оборудования / В. Ф. Резинских, В. А. Лукьяненко, В. А. Саркисян // Электрические станции. – 2013. – № 8. – С. 44–50.
13. Артамонов, В. В. Совершенствование методов диагностики металла теплоэнергетического оборудования / В. В. Артамонов, В. П. Артамонов // Энергетик. – 2000. – №7. – С. 37–38.
14. РД ЭО 0185-00. Методика оценки технического состояния и остаточного ресурса трубопроводов энергоблоков АЭС. М.: Концерн «Росэнергоатом», 1999.
15. Матюнин, В.М. Методы и средства безобразцовой экспресс-оценки механических свойств конструкционных материалов. – М.: Изд-во МЭИ, 2001.
16. Дубов, А. А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования // Теплоэнергетика. – 2003. – № 11. – С. 54–57.
17. Ланская К. А. Жаропрочные стали. – М.: Металлургия, 1969. – 245 с.
18. Смирнов, А. Н. Структурная поврежденность сталей и ее оценка спектрально-акустическим и электронно-микроскопическим методами // Контроль. Диагностика. – 2004. – № 4. – С. 13–18.
19. Волков, Б. И. Опыт УралВТИ по разработке и применению средств неразрушающего контроля роторов турбин ТЭС со стороны осевого канала / Б. И. Волков, В. М. Темрюх // Электрические станции. – 2006. – № 3. – С. 38–46.
20. Резинских, В. Ф. Увеличение ресурса длительно работающих паровых турбин / В. Ф. Резинских, В. И. Гладштейн, Г. Д. Авруцкий. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 296 с.
21. Шкатов, П. Н. Вихретоковый контроль ротора со стороны осевого канала / П. Н. Шкатов, Е. А. Зверев, А. Б. Пчелкин // Науч.-техн. конф. «Металл оборудования ТЭ проблемы и перспективы». – Москва, 2006.
22. Абабков, Н. В. Диагностика, повреждаемость и ремонт барабанов котлов высокого давления / Абабков Н. В., Кашубский Н. И., Князьков В. Л., Князьков А. Ф., Козлов Э. В., Конева Н. А., Макаров Н.

М., Муравьев В. В., Попова Н. А., Смирнов А. Н., Фольмер С. В. – М.: Машиностроение, 2011. – 256 с.

23. Смирнов, А. Н. Применение магнитошумового метода контроля для оценки качества наплавленного металла / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков // сб. науч. тр. Всероссийской конференции с международным участием «Жизненный цикл конструкционных материалов», ИрГТУ. – Иркутск, 2011. – С. 194–198.

24. Абабков, Н. В. Оценка состояния наплавленного металла барабана котла высокого давления по коэрцитивной силе металла / Н. В. Абабков, А. Н. Смирнов, А. И. Копытов, А. А. Трубин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 2. – С. 57–60.

25. Абабков, Н. В. Разработка экспериментальной установки для диагностики роторов паровых турбин по осевому каналу с применением спектрально-акустического метода контроля / Н. В. Абабков, А. Н. Смирнов, Н. В. Быкова // Инновации в машиностроении – основа технологического развития России: материалы VI МНПК – Барнаул: АлтГТУ, 2014. – Ч.1. – С. 7–12.

Поступило в редакцию 06.05.2015

## NON-DESTRUCTIVE QUALITY CONTROL OF STEAM TURBINES METAL. CURRENT STATE AND PROSPECTS

**Bykova Natalya V.,**

*postgraduate, e-mail: natalie.vrb91@mail.ru*

**Ababkov Nikolay V.,**

*Candidate Sc. in Engineering, Associate Professor, e-mail: n.ababkov@rambler.ru*

**Smirnov Aleksandr N.,**

*Dr. Sc. in Engineering, professor, e-mail: galvas.kem@gmail.com*

**Bykov Ivan S.,**

*master student, e-mail: ivanbykov777@mail.ru*

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

### Abstract

*Methods of non-destructive testing of metal steam turbine rotors, currently used are inefficient for detecting defects at an early stage of their development. There for becoming urgent task of improving methods of non-destructive testing to assess the state of the metal. Article describes the basic parameters that must be measured to predict the state of the diagnostic objects, traditional methods of non-destructive testing to identify defects and detection of internal faults in the metal turbines. Also the article contains examples of the most modern methods and diagnostic tools based on the identification of "pre defective" condition of the metal long working equipment. We can confidently say that we need a shift from traditional defectoscopy to technical diagnostics metal steam turbine rotors using new methods and control.*

**Keywords:** *steam turbine rotor, nondestructive testing, pre defective condition, prediction of the state.*

### REFERENCES

1. Smirnov, A. N. Kompleksnyj podhod k ocenke rabotosposobnosti jelementov jenergeticheskogo oborudovanija [An integrated approach to working capacity assessment elements of power equipment] / A. N. Smirnov, N. V. Ababkov // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN, 2010. – T. 12. – №1 (2). – S. 520–524.
2. Smirnov, A. N. Mikrostruktura, polja vnutrennih naprjazhenij i akusticheskie harakteristiki metalla razrushennogo rotora parovoj turbiny [Microstructure, internal stress field and the acoustic characteristics of the destroyed metal steam turbine rotor] / A. N. Smirnov, N. V. Ababkov, Je. V. Kozlov i dr. // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaja metallurgija. – 2014. – T. 57. № 10. – S. 67–71.
3. Smirnov, A. N. Analiz povrezhdaemosti rotorov parovyh turbin (obzor) [The analysis of damageability to steam turbine rotors (review)] / A. N. Smirnov, N. V. Bykova, N. V. Ababkov i dr. // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2014. – № 2. – S. 38–47.
4. Rezinskih, V. F. Nadezhnost' i bezopasnost' TJeS Rossii na sovremennom jetape: problemy i perspektivnye zadachi [Reliability and safety of TPP Russia at the present stage: problems and future challenges] / V. F. Rezinskih, E. A. Grin' // Teplojenergetika. – 2010. – № 1. – S. 31–37.
5. Rezinskih, V. F. Eshhe raz o resurse jenergooborudovanija [Once again on the resource of power equipment] / V. F. Rezinskih // Nadezhnost' i bezopasnost' jenergetiki. – 2009. – № 7. – S. 9–13.
6. Ljubimov, A. A. Analiz sostojanija metalla parovyh turbin po faktoram bezopasnosti i nadezhnosti [Analysis of the state of the metal steam turbines for safety factors and reliability] / A. A. Ljubimov, A. I. Troickij, V. I. Gladshjejn // Teplojenergetika. – 2013. – № 1. – S. 33–38.
7. Filinov, M. V. Podhody k ocenke ostatochnogo resursa tehničeskij ob"ektov [Approaches to the assessment

of residual life of technical objects] / M. V. Filinov, A. S. Fursov, V. V. Kljuev // *Kontrol'. Diagnostika.* – 2006. – № 8. S. 6–16.

8. Pchelkin, A. B. Analiz sistem diagnostiki rotorov parovyh turbin v Rossii i Evropejskom sojuze [Analysis of diagnostic systems of steam turbine rotors in Russia and the European Union] / A. B. Pchelkin, A. A. Ljubimov // *Jenergetik.* – 2013. – № 12. – S. 26–28.

9. Nagornyh, S. N. Izluchenie AJe rasprostranjajushhejsja treshhinoj pri ustalosti metallov [The radiation AE of propagating crack under the fatigue of metals] / S. N. Nagornyh, G. F. Sarafanov // V kn.: *Tezisy dokladov I Vsesojuznoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Nerazrushajushhie fizicheskie metody kontrolja».* – Sverdlovsk, 1990, T. 2.

10. Acoustic Emission – Beyond the MILLENIUM (15th International Acoustic Emission Symposium) / Edited by Kishi T., Ohtsu M., Yuyama S. Oxford: Elsevier Science, 2000.

11. A. c. 1490304 (SSSR). Sposob opredelenija defektov gorizontally raspolozhennogo rotora turbomashiny bez vskrytija cilindra [A method for determining defects in horizontally disposed turbomachine rotor without opening the cylinder] / Ju. L. Izrailev, V. A. Luk'janenko, V. F. Zlepko, Ja. D. Berkovich, V. N. Tillib, I. V. Kuleshova. Opubl. v B. I., 1989, № 24.

12. Rezinskih, V. F. Metodika nerazrushajushhego kontrolja rotorov srednego i nizkogo davlenija turbin TJeS bez snjatija nasadnyh diskov pri remonte oborudovanija [The technique of non-destructive testing medium and low pressure rotors turbines TPP without removing capped disk for repair of equipment] / V. F. Rezinskih, V. A. Luk'janenko, V. A. Sarkisjan // *Jelektricheskie stancii.* – 2013. – № 8. – S. 44–50.

13. Artamonov, V. V. Sovershenstvovanie metodov diagnostiki metalla teplo-jenergeticheskogo oborudovanija [Improvement of diagnostic methods metal thermal power equipment] / V. V. Artamonov, V. P. Artamonov // *Jenergetik.* – 2000. – № 7. – S. 37–38.

14. RD JeO 0185-00. Metodika ocenki tehničeskogo sostojanija i ostatochnogo resursa truboprovodov jenergolokov AJeS [Method of assessing the technical state and remaining life of pipeline units]. M.: Koncern «Rosjenergoatom», 1999.

15. Matjunin, V.M. Metody i sredstva bezobrazcovej jekspress-ocenki mehaničeskikh svojstv konstrukcionnyh materialov [Methods and means without -exemplary a rapid assessment of the mechanical properties of structural materials]. M.: Izd-vo MJeI, 2001.

16. Dubov, A. A. Problemy ocenki ostatochnogo resursa starejushhego oborudovanija [Problems residual life assessment of aging equipment] // *Teplojenergetika.* – 2003. – № 11. – S. 54–57.

17. Lanskaja K. A. Zharoprochnye stali [Heat-Resistant Steel]. – M.: Metallurgija, 1969. – 245 s.

18. Smirnov, A. N. Strukturnaja povrezhdennost' stalej i ee ocenka spektral'no-akusticheskim i jelektronnomikroskopicheskim metodami [Structural damage to the steel and its estimate of the spectral-acoustic method and electron microscopic method] // *Kontrol'. Diagnostika.* – 2004. – № 4. – S. 13–18.

19. Volkov, B. I. Opyt UralVTI po razrabotke i primeneniju sredstv neraz-rushajushhego kontrolja rotorov turbin TJeS so storony oseвого kanala [The experience UralVTI in the development and application of means of nondestructive testing of turbine rotors TPP by the axial channel] / B. I. Volkov, V. M. Temrjuh // *Jelektricheskie stancii.* – 2006. – № 3. – S. 38–46.

20. Rezinskih, V. F. Uvelichenie resursa dlitel'no rabotajushhijh parovyh turbin [Increase resource of long working steam turbines] / V. F. Rezinskih, V. I. Gladštejn, G. D. Avruckij. – M.: Izdatel'skij dom MJeI, 2007. – 296 s.

21. Shkatov, P. N. Vihretokovyj kontrol' rotora so storony oseвого kanala [Eddy current testing of the rotor by the axial channel] / P. N. Shkatov, E. A. Zverev, A. B. Pchelkin // *Nauch.-tehn. konf. «Metall oborudovanija TZ problemy i perspektivy».* – Moskva, 2006.

22. Ababkov, N. V. Diagnostika, povrezhdaemost' i remont barabanov kotlov vy-sokogo davlenija [Diagnostics, damageability and repair of high pressure boiler drums] / Ababkov N. V., Kashubskij N. I., Knjaz'kov V. L., Knjaz'kov A. F., Kozlov Je. V., Koneva N. A., Makarov N. M., Murav'ev V. V., Popova N. A., Smirnov A. N., Fol'mer S. V. – M.: Mashinostroenie, 2011. – 256 s.

23. Smirnov, A. N. Primenenie magnitoshumovogo metoda kontrolja dlja ocenki kachestva naplavlennogo metalla [The use of magnetic noise method of control for assessing the quality of the built-up metal] / A. N. Smirnov, N. V. Ababkov//sb. nauch. tr. Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Zhiznennyj cikl konstrukcionnyh materialov», IrGTU. – Irkutsk, 2011. – S. 194–198.

24. Ababkov, N. V. Ocenka sostojanija naplavlennogo metalla barabana kotla vysokogo davlenija po kojercitivnoj sile metalla [Assessment of the state of the built-up metal drum boiler high pressure on the coercive force of the metal] / N. V. Ababkov, A. N. Smirnov, A. I. Kopytov, A. A. Trubin // *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta.* – 2011. – № 2. – S. 57–60.

25. Ababkov, N. V. Razrabotka jeksperimental'noj ustanovki dlja diagnostiki rotorov parovyh turbin po oseвому kanalu s primeneniem spektral'no-akusticheskogo metoda kontrolja [The development of experimental setup for the diagnosis of steam turbine rotors along the axial channel using spectral-acoustic method of control] / N. V. Ababkov, A. N. Smirnov, N. V. Bykova // *Innovacii v mashinostroenii – osnova tehničeskogo razvitiya Rossii: materialy VI MNPK – Barnaul: AltGTU, 2014. – Ch.1. – S. 7–12.*

*Received 06.05.2015*