ISSN 1999-4125 (Print) **ISSN 2949-0642 (Online)**

МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ, ВЕЩЕСТВ И ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
METHODS AND DEVICES FOR MONITORING AND DIAGNOSTICS OF MATERIALS, PRODUCTS, SUBSTANCES AND THE NATURAL ENVIRONMENT

Научная статья
УДК 621.785.616
DOI: 10.26730/1999-4125-2026-3-25-35

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ПОИСКА КЛЮЧЕВЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: ОСНОВАНИЯ И ПРЕДПОСЫЛКИ

Абабков Николай Викторович

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: n.ababkov@rambler.ru

Аннотация.
В работе обозначены ключевые задачи диагностирования, включающие выявление повреждений и определение места локализации будущего предразрушения; оценку и мониторинг технического состояния объекта; прогнозирование остаточного ресурса объекта. Решение данной проблемы возможно за счет разработки принципиально нового подхода для решения ключевых вышеописанных задач диагностирования технических объектов. Процесс эксплуатации любого технического объекта характеризуется изменением набора показателей, параметров и характеристик, которые могут применяться в качестве диагностических признаков. Прикладная задача заключается в правильном выборе ключевого диагностического признака. Так, к примеру, для оборудования теплоэнергетики набор показателей, параметров и характеристик включает: режимы эксплуатации; геометрические размеры; механические характеристики; параметры микроструктуры; параметры тонкой структуры (плотность, дислокация, амплитуда полей внутренних напряжений и т. д.); характеристики методов неразрушающих испытаний. Анализ такого количества показателей, параметров и характеристик является многопараметровой задачей, решить которую возможно с применением современных достижений науки и техники, а именно с применением методов машинного обучения. Для обоснования применения в качестве диагностических признаков при оценке и прогнозировании остаточного ресурса оборудования выполнен анализ изменения акустических и магнитных характеристик неразрушающих методов испытаний после разных сроков длительной эксплуатации. Установлено, что на характеристики неразрушающих испытаний непосредственное влияние оказывает длительная эксплуатация. Наблюдается увеличение таких акустических характеристик, как время задержки и коэффициент затухания волн Релея, а также уменьшение скорости распространения и амплитуды затухания принятого сигнала волн Релея с увеличением срока эксплуатации металла теплоэнергетического оборудования. Также наблюдается возрастание интенсивности магнитного шума с увеличением срока эксплуатации металла теплоэнергетического оборудования.

CC BY

Информация о статье
Поступила:
16 марта 2026 г.

Одобрена после рецензирования:
15 июня 2026 г.

Принята к публикации:
01 июля 2026 г.

Ключевые слова:
неразрушающие испытания, ключевой диагностический признак, конструкционная углеродистая сталь, конструкционная теплоустойчивая сталь, технический объект, безопасная эксплуатация, прогнозирование, оценка остаточного ресурса

Для цитирования: Абабков Н.В. К вопросу создания системы поиска ключевых диагностических признаков технических объектов: основания и предпосылки // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. № 3 (175). С. 25-35. DOI: 10.26730/1999-4125-2026-3-25-35, EDN: PWRQEJ

Введение

С каждым годом увеличивается количество вводимых в эксплуатацию сложных технических объектов, предназначенных как для гражданского использования (объекты генерального строительства), так и для нужд промышленности (горнодобывающая промышленность, химическая промышленность, машиностроение, теплоэнергетика и др.) [1].

Помимо вновь вводимых в эксплуатацию объектов, продолжает эксплуатироваться существенное количество объектов как гражданского назначения, так и промышленных. Промышленное оборудование функционирует под длительным воздействием высоких температур и давлений, что сопровождается сложными физико-химическими процессами и приводит к накоплению дефектов структуры и потере свойств металла. Из-за этого возникают дефекты, которые приводят к аварийным ситуациям при развитии. Такая ситуация наблюдается в теплоэнергетике, где около 75–80% парка оборудования выработало парковый ресурс и нуждается в полной замене. При этом техническое перевооружение, выполняющееся в последние годы, является недостаточным [2, 3].

В настоящее время в различных отраслях промышленности применяется экспертиза промышленной безопасности. В частности, оценка текущего состояния металла технических объектов осуществляется с применением физических методов разрушающих и неразрушающих испытаний, а оценка остаточного ресурса – с применением расчетных алгоритмов. Анализ статистических данных за последние 5 лет свидетельствует о том, что в сорока процентах аварий и несчастных случаев на объектах теплоэнергетики причиной стала ошибочная выдача положительного заключения экспертизы промышленной безопасности [1]. Научная проблема состоит в повышенном риске возникновения аварийных ситуаций в работе технических устройств опасных производственных объектов по причине низкой точности современных алгоритмов расчета и недостаточной чувствительности методов неразрушающего контроля, применяемых для диагностики в настоящее время.

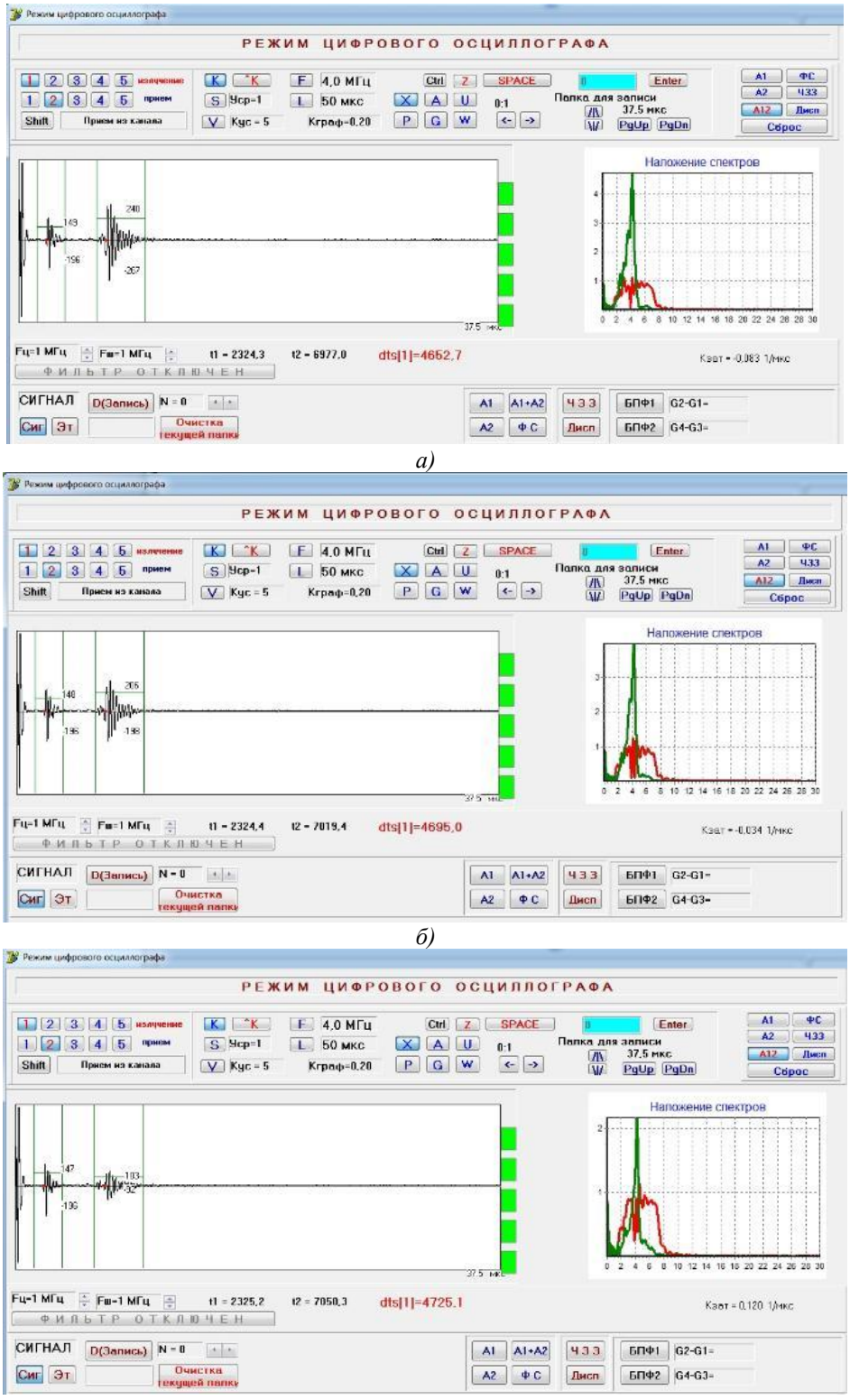
Таким образом, как для вновь вводимых в эксплуатацию объектов, так и для длительно эксплуатируемых объектов актуальными являются ключевые задачи диагностирования, включая выявление повреждений и определение места локализации будущего предразрушения; оценку и мониторинг технического состояния объекта; прогнозирование остаточного ресурса объекта. Решение данной проблемы возможно за счет разработки принципиально нового подхода для решения ключевых задач диагностирования технических объектов.

Каждая из перечисленных задач диагностирования технических объектов является важной и наукоемкой. В рамках настоящего исследования рассмотрим вопрос, связанный с прогнозированием и оценкой остаточного ресурса металлических конструкций. С точки зрения общей методологии прогнозирование остаточного ресурса заключается в построении аналитических уравнений для описания изменения выбранных для оценки технического состояния объекта диагностических признаков и обоснование их нормативных предельных значений. Остаточный ресурс объекта определяется сопоставлением значений диагностических признаков на момент контроля с их предельными или допустимыми нормативными значениями. В то же время оценка остаточного ресурса – это расчет, который определяет период рабочего состояния оборудования с момента контроля до достижения предельного или критического состояния, при котором восстановить его работоспособность невозможно, а эксплуатация лишена смысла. При этом в расчет ресурса входят физические величины, отражающие суммарные наработки технических устройств (единицы времени, объема, массы и др.) и режимы эксплуатации до достижения предельного или критического состояния. Оценка остаточного ресурса проводится для принятия решения о возможности или невозможности дальнейшей эксплуатации оборудования технического объекта.

Процесс эксплуатации любого технического объекта характеризуется изменением набора показателей, параметров и характеристик, которые могут применяться в качестве диагностических признаков. Прикладная задача заключается в правильном выборе ключевого диагностического признака. Так, к примеру, для оборудования теплоэнергетики набор показателей, параметров и характеристик включает:

– режимы эксплуатации (температура, давление, количество пусков и остановов, время наработки);

– геометрические размеры (деформация ползучести, утонение стенок и т. д.);

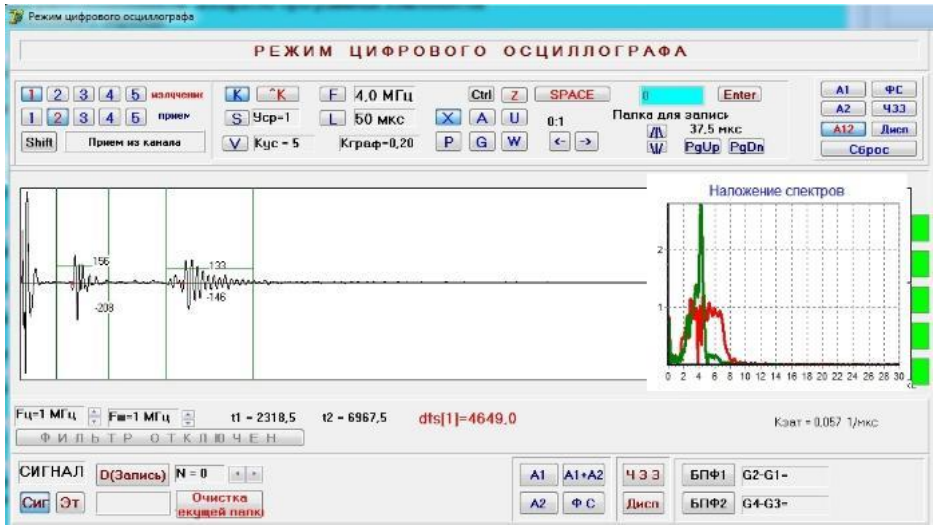


а)

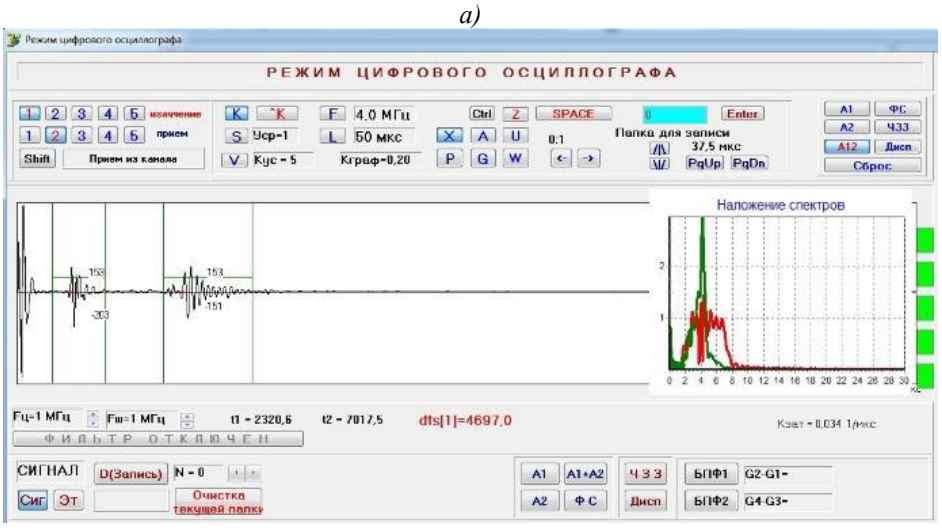
б)

в)

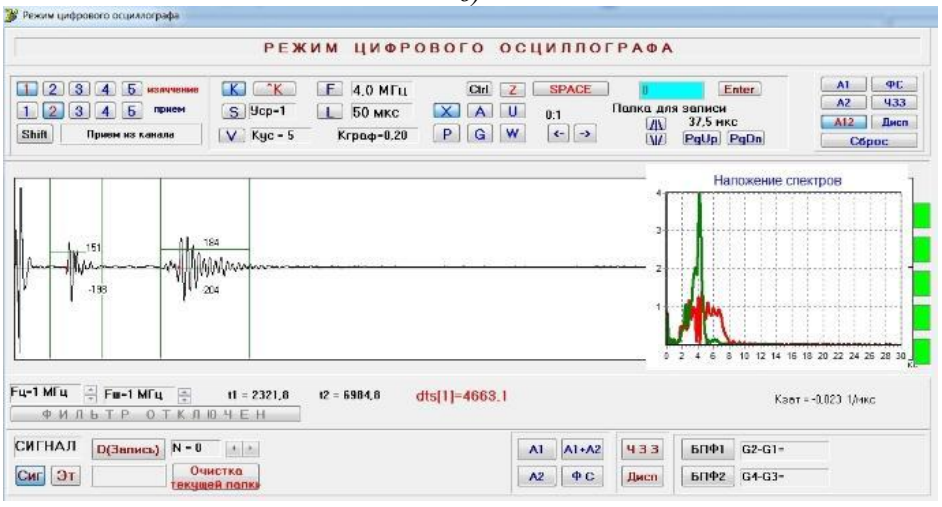
Рис. 1. Внешний вид пользовательского интерфейса специализированного программного обеспечения ИВК «АСТРОН». Сталь 20, состояние:
а – исходное (без эксплуатации); б – после длительной эксплуатации более чем 200 тыс. ч без разрушения;
в – после длительной эксплуатации более чем 240 тыс. ч и разрушения (на расстоянии от трещины)
Fig. 1. User interface of the specialized software of MCC "ASTRON". Steel 20, condition:
a – original (unused); b – after prolonged use for more than 200,000 hours without failure;
c – after prolonged use for more than 240,000 hours and failure (at a distance from the crack)



а)



б)



в)

Рис. 2. Внешний вид пользовательского интерфейса специализированного программного обеспечения ИВК «АСТРОН». Сталь 12Х1МФ, состояние: а – исходное (без эксплуатации), б – после длительной эксплуатации более чем 260 тыс. ч без разрушения;
в – после длительной эксплуатации более чем 260 тыс. ч и разрушения (на расстоянии от трещины)
Fig. 2. User interface of the specialized software of MCC "ASTRON". 0.12C-1.0Cr-1.0Mo-1.0Va steel, condition: a – original (without operation), b – after long-term operation for more than 260 thousand hours without destruction;

– механические характеристики (предел текучести, предел прочности, относительное удлинение);

– параметры микроструктуры (размер зерна, балл зерна, наличие/отсутствие микротрещин/микропор);

– параметры тонкой структуры (плотность дислокация, амплитуда полей внутренних напряжений и т. д.);

– характеристики методов неразрушающих испытаний (акустические и магнитные).

Анализ такого количества показателей, параметров и характеристик является многопараметровой задачей, решить которую возможно с применением современных достижений науки и техники, а именно с применением методов машинного обучения.

Цель настоящего исследования заключается в анализе изменения акустических и магнитных

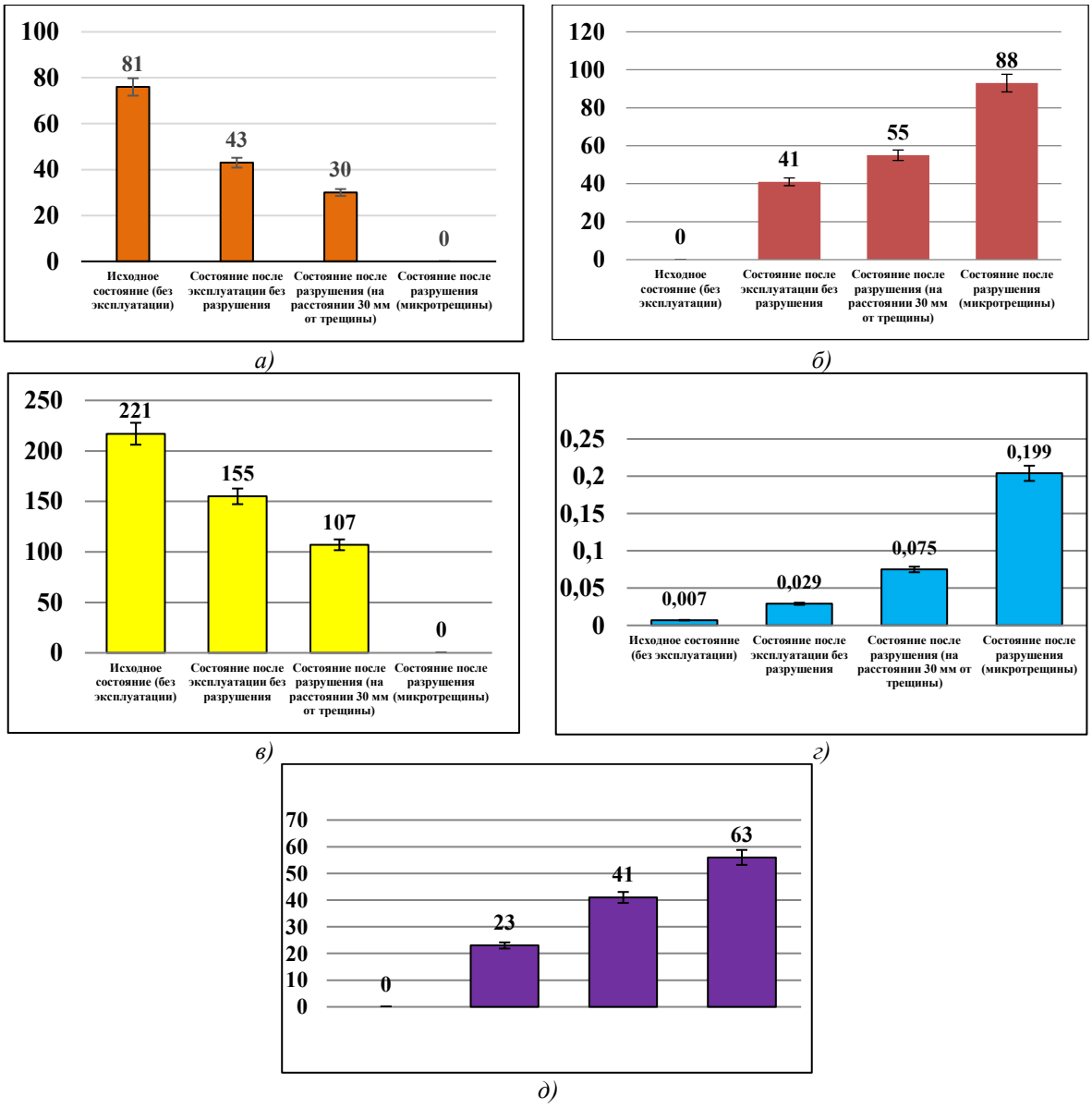


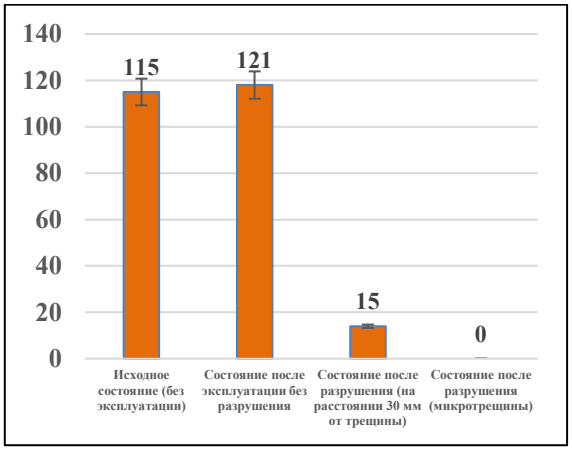
Рис. 3. Значения акустических и магнитных характеристик металла образцов из стали 20 после разной наработки:
а – скорость распространения волн Релея, V, м/с; б – время задержки волн Релея, R, нс; в – размах амплитуды принятого сигнала волн Релея, A, 1/мм; г – коэффициент затухания волн Релея, $K_{зат}$, 1/мкс; д – интенсивность магнитного шума, MNI, б/в

Fig. 3. Values of the acoustic and magnetic characteristics of grade 20 steel samples after long-term operation:
a – Rayleigh wave propagation velocity, V, m/s; b – Rayleigh wave delay time, R, ns; c – received Rayleigh wave signal amplitude peak-to-peak, A, 1/mm; d – Rayleigh wave attenuation coefficient, K_{zat} 1/μs; e – magnetic noise intensity, MNI, d/q

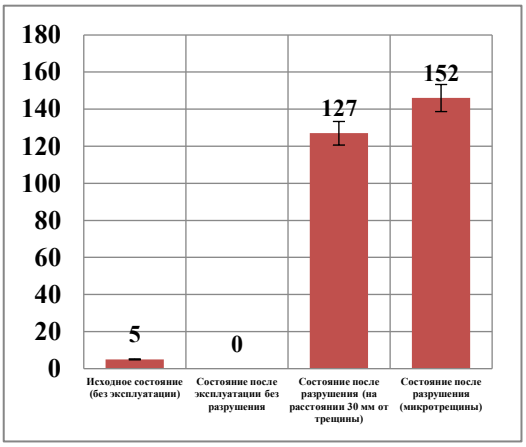
характеристик неразрушающих методов испытаний после разных сроков длительной эксплуатации для подтверждения возможности их применения для создания системы поиска ключевых диагностических признаков технических объектов при оценке и прогнозировании остаточного ресурса.

Материалы и методы экспериментальных исследований

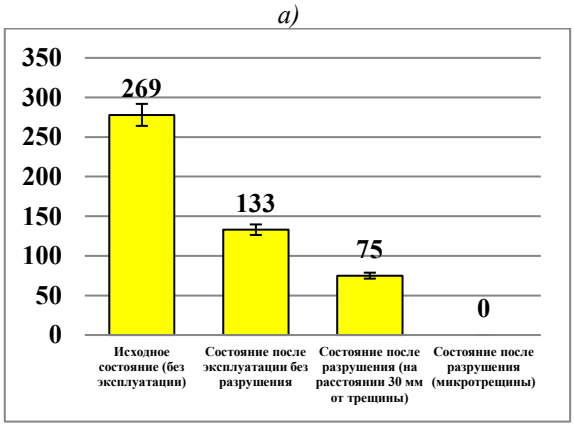
В качестве объекта экспериментальных



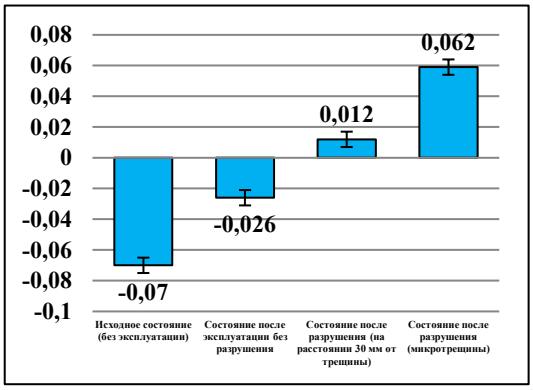
а)



б)



в)



г)

д)

Рис. 4. Значения акустических и магнитных характеристик металла образцов из стали 12Х1МФ после разной наработки:
а – время задержки волн Релея, R, нс; б – скорость распространения волн Релея, V, м/с; в – коэффициент затухания волн Релея, $К_{зат}$, 1/мкс; г – размах амплитуды принятого сигнала волн Релея, А, 1/мм; д – интенсивность магнитного шума, MNI, б/в
Fig. 4. Values of the acoustic and magnetic characteristics of 0.12C-1.0Cr-1.0Mo-1.0Va steel samples after long-term operation:
a – Rayleigh wave propagation velocity, V, m/s; b – Rayleigh wave delay time, R, ns; c – received Rayleigh wave signal amplitude peak-to-peak, A, 1/mm; d – Rayleigh wave attenuation coefficient, K_{zat} 1/μs; e – magnetic noise intensity, MNI, d/q

исследований в лабораторных условиях использовались вырезки металла из водоопускных труб фронтового экрана котла высокого давления после наработки в течение более чем 200 тысяч часов без разрушения и изготовленных из углеродистой стали 20, а также вырезки металла из гибов паропроводов перед выхлопным клапаном котла высокого давления после наработки более 260 тысяч часов без разрушения и изготовленных из теплоустойчивой стали 12Х1МФ [6, 7].

Для измерения акустических характеристик использовался спектральный-акустический метод и измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «АСТРОН» [8–14], используемый для задач контроля состояния материала в составе деталей, узлов и полуфабрикатов [15–25]. Постоянный акустический контакт в процессе измерения между образцом и датчиком обеспечивался нанесением слоя контактной жидкости – глицерина [26–31, 36, 37]. Шероховатость поверхности [29] всех исследуемых образцов не превышала *Ra 1,6*.

Для измерения магнитной характеристики – интенсивности магнитного шума применялся магнитошумовой метод и анализатор напряжений и структуры металлов магнитно-шумовым анализатором «Интроскан», основанным на эффекте Баркгаузена, а именно возникновении скачков намагниченности при перемагничивании ферромагнитика [32–34].

Получение достоверных результатов измерения как акустических, так и магнитной характеристик обеспечивалось повторными замерами в каждой точке не менее 10–12 раз. Результаты измерений записывались во временный буфер памяти приборов. После проведенных измерений полученные значения обрабатывались методами математической статистики [35].

Результаты и обсуждение

На Рис. 1 и 2 представлены изображения пользовательского интерфейса приложения ИВК «АСТРОН» при измерении акустических характеристик металла энергетического оборудования, изготовленного из конструкционных сталей марок 20 и 12Х1МФ с разной наработкой.

В результате проведенных измерений (Рис. 3) наблюдается увеличение таких акустических характеристик, как время задержки и коэффициент затухания волн Релея, а также уменьшение скорости распространения и амплитуды затухания принятого сигнала волн Релея с увеличением срока эксплуатации металла теплоэнергетического оборудования. Также наблюдается возрастание интенсивности магнитного шума с увеличением срока эксплуатации металла теплоэнергетического оборудования.

В результате проведенных измерений (Рис. 4, *а–д*) для образцов из стали 12Х1МФ наблюдаются аналогичные со сталью 20 изменения акустических и магнитной характеристик неразрушающих испытаний после разной наработки элементов энергетического оборудования.

Таким образом, анализ изменения акустических и магнитных характеристик неразрушающих методов испытаний после разных сроков длительной эксплуатации подтверждает возможность их применения для создания системы поиска ключевых диагностических признаков технических объектов при оценке и прогнозировании остаточного ресурса.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что на характеристики неразрушающих испытаний непосредственное влияние оказывает длительная эксплуатация, которая является причиной изменения структурно-фазового состояния. Наблюдается увеличение таких акустических характеристик, как время задержки и коэффициент затухания волн Релея, а также уменьшение скорости распространения и амплитуды затухания принятого сигнала волн Релея с увеличением срока эксплуатации металла теплоэнергетического оборудования. Также наблюдается возрастание интенсивности магнитного шума с увеличением срока эксплуатации металла теплоэнергетического оборудования. Анализ изменения акустических и магнитных характеристик неразрушающих методов испытаний после разных сроков длительной эксплуатации подтверждает возможность их применения для создания системы поиска ключевых диагностических признаков технических объектов при оценке и прогнозировании остаточного ресурса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. М. : Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2020. № 1(106). С. 22–24.

2. РД 34.17.421-92. Типовая инструкция по контролю и продлению срока службы металла основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций.

3. СТО-021-21-21-2003. Основные элементы котлов, турбин и трубопроводов тепловых электрических станций. Контроль состояния металла. Нормы и требования.

4. Смирнов А. Н., Козлов Э. В. Субструктура, внутренние поля напряжений и проблема

разрушения паропроводов из стали 12Х1МФ. Кемерово : Кузбассвузиздат, 2004. 163 с.

5. Смирнов А. Н., Абабков Н. В., Глинка А. С. [и др.] Акустические и физико-механические показатели теплоустойчивой стали в окрестности трещины // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 10. С. 40–45.

6. Углов А. Л., Ерофеев В. И., Смирнов А. Н. Акустический контроль оборудования при изготовлении и эксплуатации. М. : Наука, 2009. 279 с.

7. Митенков Ф. М., Углов А. Л., Пичков С. Н., Попцов В. М. О новом методе контроля повреждаемости материала оборудования ЯЭУ и аппаратно-программных средствах для ее реализации // Проблемы машиноведения и надежности машин. 1998. № 3. С. 3–9.

8. Алешин Н. П., Углов А. Л., Хлыбов А. А. [и др.] Акустический метод определения осевых напряжений для произвольного участка трубопровода // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2008. Т. 74. № 3. С. 6.

9. Khlybov A. A. Studying the Effect of Microscopic Medium Inhomogeneity on the Propagation of Surface Waves // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2018. Vol. 54. № 6. Pp. 385–393.

10. Смирнов А. Н., Хапонен Н. А. Способ неразрушающего контроля степени поврежденности металлов эксплуатируемых элементов теплоэнергетического оборудования». Патент РФ, № 2231057. 2004.

11. Смирнов А. Н., Муравьев В. В., Фольмер С. В. Структурно-фазовое состояние и ресурс длительно-работающего металла технических устройств опасных производственных объектов, перспективы дальнейшего развития методов оценки работоспособности // Контроль. Диагностика. 2009. № 1. С. 22–32.

12. Смирнов А. Н., Абабков Н. В. Комплексный подход к оценке работоспособности элементов энергетического оборудования // Извест. Сам. науч. центра РАН. 2010. Т. 12. № 1(2). С. 520–524.

13. Смирнов А. Н., Князьков В. Л., Абабков Н. В. [и др.] Оценка напряженно-деформированного состояния сварных соединений углеродистых сталей после различных режимов тепловложения акустическим методом // Дефектоскопия. 2018. № 1. С. 40–46.

14. Смирнов А. Н. Структурная поврежденность сталей и ее оценка спектрально-акустическим и электронно-микроскопическим методами // Контроль. Диагностика. 2004. № 4. С. 13–18.

15. Смирнов А. Н., Блюменштейн В. Ю., Кречетов А. А. [и др.] Использование УЗ-сигналов для идентификации НДС // Безопасность труда в промышленности. 2002. № 3. С. 32–35.

16. Смирнов А. Н., Муравьев В. В., Хапонен Н. А. Акустический критерий предельного состояния длительно работающего металла технических устройств опасных производственных объектов // Контроль. Диагностика. 2004. № 5. С. 19–23.

17. Смирнов А. Н., Конева Н. А., Фольмер С. В. [и др.] Повреждаемость сварных соединений. Спектрально-акустический метод контроля. М. : Машиностроение, 2009. 240 с.

18. Фольмер С. В. Разработка технологии оценки ресурса сварных соединений трубопроводов с применением спектрально-акустического метода / автореф. на соиск. степ. канд. техн. наук. Барнаул, 2009. 19 с.

19. Смирнов А. Н., Хапонен Н. А., Челышев А. Н., Медведев С. Н. Оценка состояния длительно работающего металла технических устройств опасных производственных объектов акустическим методом // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 3. С. 28–31.

20. Хлыбов А. А. Акустический метод оценки технического состояния крюков из сплава ВТ3-1 // Деформация и разрушение материалов. 2008. № 8. С. 31–36.

21. Хлыбов А. А. Оценка структурных изменений в конструкционных металлических материалах в задачах обеспечения безопасной эксплуатации технических объектов: монография. Нижний Новгород : Нижегородский гос. пед. ун-т, 2010. 153 с.

22. Murav'ev V. V., Volkova L. V., Platunov A. V., Kulikov V. A. An electromagnetic-acoustic method for studying stress-strain states of rails // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2016. Vol. 52. № 7. Pp. 370–376.

23. Zuev L. B., Tsellermaer V. Ya., Gromov V. E., Murav'ev V. V. Ultrasonic monitoring of the accumulation of aging damage and recovery of the useful lifetime of industrial parts // Technical Physics. 1997. Vol. 42. № 9. Pp. 1094–1096.

24. Murav'ev V. V., Murav'eva O. V., Strizhak V. A. [et al.] An analysis of the comparative reliability of acoustic testing methods of bar stock from spring steels // Russian Journal of Nondestructive Testing. 2014. Vol. 50. № 8. Pp. 435–442.

25. Murav'ev V. V., Volkova L. V., Gromov V. E., Glezer A. M. Estimation of the residual stresses in rails using electromagnetic–acoustic introduction–reception of waves // Russian Metallurgy (Metally). 2016. Vol. 2016. № 10. Pp. 992–995.

26. Murav'eva O. V., Murav'ev V. V., Gabbasova M. A. [et al.] Analysis of reflected signals in testing cylindrical specimens by the multiple reflection echo-shadow method // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2016. Vol. 52. № 4. Pp. 367–373.

27. Муравьев В. В., Зуев Л. Б., Комаров К. Л. Скорость звука и структура сталей и сплавов. Новосибирск : «Наука», 1996. 185 с.

28. Erofeev V. I., Nikitina E. A. The self-consistent dynamic problem of estimating the damage of a material by an acoustic method // Acoustical Physics.

2010. Vol. 56. № 4. Pp. 584–587.

29. Смирнов А. Н. Эволюция микроструктуры и критерии предельного состояния при прогнозировании работоспособности теплоустойчивых сталей: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Сибирский государственный университет путей сообщения. Новосибирск, 2004. 397 с.

30. Муравьев В. В., Будрин А. Ю., Синцов М. А. Структуроскопия термически обработанных стальных прутков по скорости распространения рэлеевских волн // Интеллектуальные системы в производстве. 2020. Т. 18. № 2. С. 37–43.

31. Смирнов А. Н. Исследование микроструктуры и фазового состава стали 12Х1МФ после длительной эксплуатации // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2004. № 2(39). С. 67–72.

32. Бабков В. В., Решенкин А. С. Моделирование процессов диагностирования ферромагнитных конструкций магнитошумовым методом неразрушающего контроля // Контроль. Диагностика. 2008. № 4. С. 17–21.

33. He Y., Mehdi M., Edrisy A. [et al.] Evaluation of Local Anisotropy of Magnetic Response from Non-Oriented Electrical Steel by Magnetic Barkhausen Noise // IEEE Transactions on Magnetics. 2018. Vol. 54. № 11. Art. 8410003.

34. Xin Q., Shu D., Hui L. [et al.] Magnetic Barkhausen noise, metal magnetic memory testing and estimation of the ship plate welded structure stress // Journal of Nondestructive Evaluation. 2012. Vol. 31. № 1. Pp. 80–89.

35. Боровиков В. П., Боровиков И. П. Statistica. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М. : Информационно-издательский дом «Филинъ», 1998. 608 с.

36. Qi X., Wang W., Zheng X., Chen J. Research on the relation between magnetic Barkhausen noise and ferromagnetic materials with different heat treatments // Journal of Testing and Evaluation. 2008. Vol. 36. № 6. Pp. 525–533.

37. Решенкин А. С. Прогнозирование места разрушения конструкций // Контроль. Диагностика. 2005. № 3. С. 42–45.

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:
Абабков Николай Викторович, заведующий кафедрой технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, к.т.н., доцент, e-mail: n.ababkov@rambler.ru, ORCID: 0000-0003-0794-8040

Заявленный вклад авторов:
Абабков Николай Викторович – научный менеджмент, постановка исследовательской задачи, выводы, обзор соответствующей литературы, обработка результатов, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ON THE ISSUE OF CREATING A SYSTEM FOR SEARCHING FOR KEY DIAGNOSTIC FEATURES OF TECHNICAL OBJECTS: FOUNDATIONS AND PREREQUISITES

Nikolay V. Ababkov

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: n.ababkov@rambler.ru

Article info
Received:

Abstract.
The paper outlines the key diagnostic tasks, including assessment of the technical condition of an object; detection and localization of faults and pre-destruction; prediction of the object's remaining life; monitoring of the object's technical condition. This problem can be solved by developing a fundamentally new approach to solving the key tasks of technical object

16 March 2026

Accepted for publication:
15 June 2026

Accepted:
01 July 2026

Keywords: *non-destructive testing, key diagnostic indicator, carbon structural steel, heat-resistant structural steel, technical object, safe operation, prediction, residual life assessment*

diagnostics, including assessment of the technical condition of an object; detection and localization of faults and pre-destruction; prediction of the object's remaining life; monitoring of the object's technical condition. The operation process of any technical object is characterized by a change in a set of indicators, parameters and characteristics that can be used as diagnostic features. The applied task is to correctly select the key diagnostic feature. Thus, for example, for heat power equipment, the set of indicators, parameters and characteristics includes: operating modes; geometric dimensions; mechanical characteristics; microstructure parameters; fine structure parameters (dislocation density, amplitude of internal stress fields, etc.); characteristics of non-destructive testing methods. Analyzing such a large number of indicators, parameters, and characteristics is a multi-parameter task that can be solved using modern advances in science and technology, specifically machine learning methods. An analysis of changes in the acoustic and magnetic characteristics of non-destructive testing methods after various periods of long-term operation was conducted to substantiate their use as diagnostic indicators for assessing and predicting the performance and remaining life of equipment. It was established that long-term operation has a direct impact on the performance of non-destructive testing. Acoustic indicators such as the delay time and Rayleigh wave attenuation coefficient increase, while the propagation velocity and attenuation amplitude of the received Rayleigh wave signal decrease with increasing service life of the heat and power equipment metal. An increase in magnetic noise intensity is also observed with increasing service life of the heat and power equipment metal.

For citation: Ababkov N.V. On the issue of creating a system for searching for key diagnostic features of technical objects: foundations and prerequisites *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2026; 3(175):25-35. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2026-3-25-35, EDN: PWRQEJ

REFERENCES

1. Information Bulletin of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision. Moscow: Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision; 2020. № 1 (106). Pp. 22–24.

2. RD 34.17.421-92. Standard Instructions for Monitoring and Extending the Service Life of Metal in Main Components of Boilers, Turbines, and Piping of Thermal Power Plants.

3. STO-021-21-21-2003. Main Components of Boilers, Turbines, and Piping of Thermal Power Plants. Monitoring the Condition of Metal. Standards and Requirements.

4. Smirnov A.N., Kozlov E.V. Substructure, Internal Stress Fields, and the Problem of Failure of Steam Pipelines Made of 12Kh1MF Steel. Kemerovo: Kuzbassvuizdat; 2004. 163 p.

5. Smirnov A.N., Ababkov N.V., Glinka A.S. [et al.] Acoustic and physical-mechanical properties of heat-resistant steel in the vicinity of a crack. *Hardening technologies and coatings.* 2011; 10:40-45.

6. Uglov A.L., Erofeev V.I., Smirnov A.N. Acoustic monitoring of equipment during manufacture and operation. Moscow: Nauka; 2009. 279 p.

7. Mitenkov F.M., Uglov A.L., Pichkov S.N., Poptsov V.M. On a new method for monitoring the damageability of nuclear power plant equipment material and hardware and software for its implementation. *Problems of Mechanical Engineering and Machine Reliability.* 1998; 3:3–9.

8. Aleshin N.P., Uglov A.L., Khlybov A.A. [et al.] Acoustic Method for Determining Axial Stresses for an Arbitrary Section of a Pipeline. *Factory Laboratory. Diagnostics of Materials.* 2008; 74(3):6.

9. Khlybov A.A. Studying the Effect of Microscopic Medium Inhomogeneity on the Propagation of Surface Waves. Russian Journal of Nondestructive Testing. 2018; 54(6):385-393.

10. Smirnov A.N., Khaponen N.A. Method of Non-Destructive Testing of the Degree of Damage of Metals of Operated Elements of Heat Power Equipment. Russian Federation Patent, № 2231057. 2004.

11. Smirnov A.N., Muravyov V.V., Folmer S.V. Structural-Phase State and Service Life of Long-Term Operating Metal of Technical Devices of Hazardous Industrial Facilities, Prospects for Further Development of Performance Assessment Methods. *Control. Diagnostics.* 2009; 1:22-32.

12. Smirnov A.N., Ababkov N.V. Integrated Approach to Assessing the Performance of Power Equipment Elements. *Proceedings of the Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2010; 12(1(2):520–524.

13. Smirnov A.N., Knyazkov V.L., Ababkov N.V. [et al.] Assessment of the stress-strain state of welded joints of carbon steels after different heat input modes using the acoustic method. *Defectoscopy.* 2018(1):40-46.

14. Smirnov A.N. Structural damage of steels and its assessment using spectral-acoustic and electron-microscopic methods. *Control. Diagnostics.* 2004; 4:13–18.

15. Smirnov A.N., Blumenshtein V.Yu., Krechetov A.A. [et al.] Use of ultrasonic signals for identification of stress-strain state. *Occupational safety in industry.* 2002; 3:32-35.

16. Smirnov A.N., Muravyov V.V., Khaponen N.A. Acoustic criterion of the limit state of long-term operating metal of technical devices of hazardous industrial facilities. Control. Diagnostics. 2004; 5:19–23.

17. Smirnov A.N., Koneva N.A., Folmer S.V. [et al.] Damage to welded joints. Spectral-acoustic testing method. Moscow: Mashinostroenie; 2009. 240 p.

18. Folmer S.V. Development of a technology for assessing the resource of welded joints of pipelines using the spectral-acoustic method / abstract of a dissertation for the degree of Cand. Sci. (Eng.). Barnaul, 2009. 19 p.

19. Smirnov A.N., Khaponen N.A., Chelyshev A.N., Medvedev S.N. Assessment of the Condition of Long-Term Operating Metal of Technical Devices of Hazardous Industrial Facilities by the Acoustic Method. *Occupational Safety in Industry.* 2004; 3:28-31.

20. Khlybov A.A. Acoustic Method for Assessing the Technical Condition of Hooks Made of VTZ-1 Alloy. *Deformation and Failure of Materials.* 2008; 8:31–36.

21. Khlybov A.A. Assessment of Structural Changes in Structural Metallic Materials in the Problems of Ensuring the Safe Operation of Technical Facilities: Monograph. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Pedagogical University; 2010. 153 p.

22. Murav'ev V.V., Volkova L.V., Platunov A.V., Kulikov V.A. An electromagnetic-acoustic method for studying stress-strain states of rails. *Russian Journal of Nondestructive Testing.* 2016; 52(7):370-376.

23. Zuev L.B., Tsellermaer V.Ya., Gromov V.E., Murav'ev V.V. Ultrasonic monitoring of the accumulation of aging damage and recovery of the useful lifetime of industrial parts. *Technical Physics.* 1997; 42(9):1094-1096.

24. Murav'ev V.V., Murav'eva O.V., Strizhak V.A. [et al.] An analysis of the comparative reliability of acoustic testing methods of bar stock from spring steels. *Russian Journal of Nondestructive Testing.* 2014; 50(8):435-442.

25. Murav'ev V.V., Volkova L.V., Gromov V.E., Glezer A.M. Estimation of the residual stresses in rails using electromagnetic–acoustic introduction–reception of waves. *Russian Metallurgy (Metally).* 2016; 2016(10):992-995.

26. Murav'eva O.V., Murav'ev V.V., Gabbasova M.A. [et al.] Analysis of reflected signals in testing cylindrical specimens by the multiple reflection echo-shadow method. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing.* 2016; 52(4):367-373.

27. Murav'ev V.V., Zuev L.B., Komarov K.L. The speed of sound and the structure of steels and alloys. Novosibirsk: "Science"; 1996. 185 s.

28. Erofeev V.I., Nikitina E.A. The self-consistent dynamic problem of estimating the damage of a material by an acoustic method. *Acoustical Physics.* 2010; 56(4):584-587.

29. Smirnov A.N. Evolution of mikrostruktury i kriterii predelnogo sostoyaniya pri prognozirovanii rabotosposobnosti teploustoychivyh stalej: dissertation na soiskanie uchenoi stepi doktor tehnicheskih nauk. Sibirskii gosudarstvennyi universitet putej soobshcheniya. Novosibirsk, 2004. 397 s.

30. Murav'ev V.V., Budrin A.Yu., Sintsov M.A. Strukturoskopiya termicheski obrabotannykh stahlnykh prutkov po skorosti rasprostraneniya réleevskih voln. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve.* 2020; 18(2):37-43.

31. Smirnov A.N. Issledovanie microstructure and phase composition of 12H1MF steel after long-term exploitation. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta.* 2004; 2(39):67-72.

32. Babkov V.V., Reshenko A.S. Modelirovanie procesov diagnostirovaniya ferro-magnitnykh konstruktion magnitoshumovym metod nerazrushayuschego kontrolya. *Kontrol'. Diagnostics.* 2008; 4:17–21.

33. He Y., Mehdi M., Edrisy A. [et al.] Evaluation of Local Anisotropy of Magnetic Response from Non-Oriented Electrical Steel by Magnetic Barkhausen Noise. *IEEE Transactions on Magnetics.*2018; 54(11):8410003.

34. Xin Q., Shu D., Hui L. [et al.] Magnetic Barkhausen noise, metal magnetic memory testing and estimation of the ship plate welded structure stress. *Journal of Nondestructive Evaluation.* 2012; 31(1)80-89.

35. Borovikov V.P., Borovikov I.P. Statistics. Statistical analysis and data processing in the Windows environment. M.: Information and publishing house "Filin"; 1998. 608 p.

36. Qi X., Wang W., Zheng X., Chen J. Research on the relationship between magnetic Barkhausen noise and ferromagnetic materials with different heat treatments. *Journal of Testing and Evaluation.* 2008; 36(6):525-533.

37. Reshenkin A.S. Prognozirovanie mesta razrushenia construction. *Kontrol'. Diagnostics.* 2005; 3:42-45.

© 2026 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:
Nikolay V. Ababkov, Head of the Department of Mechanical Engineering Technology, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Vesennaya St., 28, PhD in Engineering (Cand. of Sc.), Associate Professor, e-mail: n.ababkov@rambler.ru, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0794-8040

Contribution of the authors:
Nikolay V. Ababkov – scientific management, formulation of the research problem, conclusions, review of relevant literature, processing of results, and writing.

All authors have read and approved the final manuscript.