

ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И СООРУЖЕНИЙ

2-е издание



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 8

УДК 681.2+621.791
ББК 30.14+30.82
О-75

Авторы:

Г.А. Бигус, Ю.Ф. Даниев, Н.А. Быстрова, Д.И. Галкин

Рецензенты:

академик РАН Н.П. Алешин;
доктор технических наук В.С. Котельников

Основы диагностики технических устройств и сооружений /
О-75 [Г. А. Бигус, Ю. Ф. Даниев, Н. А. Быстрова, Д. И. Галкин]. – 2-е изд. –
Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018 – 445, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4804-3

В монографии приведены основные понятия технической диагностики — области знаний, охватывающей теорию, методы и средства определения технического состояния объектов. Значительное внимание уделено методам неразрушающего контроля, правильное применение которых позволяет получить исходные данные для анализа, проводимого при техническом диагностировании. Изложены элементы теории надежности и методы расчета показателей надежности в приложении к технической диагностике. Рассмотрены вопросы идентификации состояния объекта по измеренным диагностическим параметрам и оценки его ресурса.

Книга предназначена для специалистов в области диагностики технических устройств, экспертов в области промышленной безопасности, а также студентов, обучающихся по соответствующим специальностям.

УДК 681.2+621.791
ББК 30.14+30.82

ISBN 978-5-7038-4804-3

© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Глава 1. Основные понятия диагностики технического состояния	9
1.1. Цель и задачи технической диагностики	9
1.2. Системы и программы технической диагностики	15
1.3. Диагностические параметры	23
Глава 2. Методы и средства контроля состояния объектов	30
2.1. Неразрушающие методы и средства контроля	30
2.2. Методы, применяемые для поиска поверхностных несплошностей ...	31
2.2.1. Визуальный и измерительный контроль	31
2.2.2. Вихретоковый контроль	33
2.2.3. Ультразвуковой контроль поверхностными волнами	35
2.2.4. Магнитные методы контроля	36
2.2.5. Контроль проникающими веществами	41
2.2.6. Оптический контроль	51
2.2.7. Электрический контроль	53
2.3. Методы, применяемые для поиска внутренних несплошностей	54
2.3.1. Ультразвуковой контроль	54
2.3.2. Радиационный контроль	70
2.3.3. Радиоволновой метод	77
2.4. Методы первичной диагностики	80
2.4.1. Ультразвуковой длинноволновый метод («ведомых» волн)	80
2.4.2. Тепловой метод	81
2.4.3. Коэрцитиметрия	83
2.5. Методы полуразрушающего и разрушающего контроля	84
2.6. Дефекты и критерии оценки качества	87
2.7. Аттестация специалистов неразрушающего контроля	90
2.8. Нормативные и технические документы, регламентирующие НК технических устройств различного вида	92

Глава 3. Акустическая эмиссия	109
3.1. Физические аспекты акустической эмиссии в металлах и сварных соединениях	109
3.2. Обобщенная модель полного сигнала акустической эмиссии	126
3.3. Аппаратура акустико-эмиссионного контроля	134
3.3.1. Общие положения	134
3.3.2. Акустико-эмиссионные системы	140
3.3.3. Акустико-эмиссионные преобразователи	159
3.3.4. Предварительные усилители	169
3.4. Обработка акустико-эмиссионной информации	171
3.4.1. Способы отображения акустико-эмиссионной информации акустической эмиссии	171
3.4.2. Фильтрация акустико-эмиссионных данных	176
3.4.3. Способы локации источников акустической эмиссии	176
3.5. Технология акустико-эмиссионного контроля	179
3.5.1. Предварительное изучение объекта контроля	179
3.5.2. Проведение акустико-эмиссионного контроля	180
3.6. Системы оценки степени опасности дефектов на основе акустико-эмиссионных данных	195
3.6.1. Общие положения	195
3.6.2. Амплитудный критерий	196
3.6.3. Интегральный критерий	197
3.6.4. Критерий Иванова – Быкова	198
3.6.5. Интегрально-динамический критерий	200
3.6.6. Критерий кода ASME	201
3.6.7. Критерий непрерывной акустической эмиссии	206
3.6.8. Определение возможности дальнейшей эксплуатации объекта на основе данных акустико-эмиссионного контроля	206
3.6.9. Методология оценки технического состояния опасных производственных объектов акустическими методами	207
Глава 4. Вибродиагностика	210
4.1. Основные задачи вибродиагностики	210
4.2. Характеристики вибрации	216
4.3. Единицы измерения параметров вибрации	221
4.4. Классификация вибросигналов	222
4.5. Периодические вибросигналы	224
4.6. Почти периодические и переходные процессы	232

4.7. Случайные вибросигналы и анализ вибраций	234
4.8. Выбор диагностических признаков	251
4.9. Методы вибродиагностики	252
4.10. Статистическая обработка данных вибрационных исследований	253
4.11. Шумодиагностика	254
4.12. Вибродиагностика трубопроводов	256
4.13. Аппаратура, применяемая при вибродиагностике	257
4.14. Вибродатчики	260
4.15. Многоканальная виброизмерительная аппаратура	272
4.16. Методы и приборы виброиспытаний	273
Глава 5. Внутритрубная диагностика	294
5.1. Состояние проблемы	294
5.2. Дефекты магистральных газопроводов	296
5.3. Физические основы внутритрубной диагностики	299
5.4. Повышение информативности внутритрубной диагностики	303
5.5. Виды внутритрубных дефектоскопов	307
Глава 6. Элементы теории надежности в технической диагностике	314
6.1. Основные понятия	314
6.2. Обеспечение надежности	321
6.3. Вероятностно-статистические методы в теории надежности	324
6.4. Показатели надежности	340
6.4.1. Безотказность	342
6.4.2. Долговечность	350
6.4.3. Комплексные показатели	352
6.5. Оценка показателей надежности	355
6.5.1. Байесовский подход в задачах надежности и диагностике	359
6.6. Расчет надежности систем	361
6.7. Структурные схемы надежности	365
6.8. Составление логической схемы для расчета надежности системы	373
6.9. Применение формулы полной вероятности при расчете надежности	375
6.10. Использование «лямбда-характеристик» при решении практических задач	377
6.11. Расчет систем с неодновременно работающими элементами	381
6.12. Логико-графические методы анализа надежности	383
6.13. Методы повышения надежности	386

Глава 7. Основные положения по оценке ресурса опасных производственных объектов	397
7.1. Виды ресурса	397
7.2. Оценка и прогнозирование ресурса	398
7.3. Вероятностные модели ресурса	403
7.4. Экспертные методы прогнозирования ресурса	415
7.5. Остаточный ресурс трубопроводов	421
7.6. Методология определения остаточного ресурса потенциально опасных объектов	433
Литература	436

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное производство, к сожалению, не может пока полностью избежать крупных производственных аварий. Для борьбы с ними необходимо соблюдение ряда специальных обязательных правил. В Российской Федерации деятельность по защите жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий называется "промышленной безопасностью". Условия, запреты, ограничения и другие обязательные требования, обязательные для исполнения на опасных производственных объектах, регулируются Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

К категории опасных производственных объектов относятся объекты, на которых:

1) получаются, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества следующих видов:

а) воспламеняющиеся вещества газы, которые при нормальном давлении и в смеси с воздухом становятся воспламеняющимися и температура кипения которых при нормальном давлении составляет 20 градусов Цельсия или ниже;

б) окисляющие вещества — вещества, поддерживающие горение, вызывающие воспламенение и (или) способствующие воспламенению других веществ в результате окислительно-восстановительной экзотермической реакции;

в) горючие вещества — жидкости, газы, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления;

г) взрывчатые вещества — вещества, которые при определенных видах внешнего воздействия способны на очень быстрое самораспространяющееся химическое превращение с выделением тепла и образованием газов;

д) токсичные вещества — вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить к их гибели и имеющие следующие характеристики:

— средняя смертельная доза при введении в желудок от 15 миллиграммов на килограмм до 200 миллиграммов на килограмм включительно;

— средняя смертельная доза при нанесении на кожу от 50 миллиграммов на килограмм до 400 миллиграммов на килограмм включительно;

— средняя смертельная концентрация в воздухе от 0,5 миллиграмма на литр до 2 миллиграммов на литр включительно;

е) высокотоксичные вещества — вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить к их гибели и имеющие следующие характеристики:

— средняя смертельная доза при введении в желудок не более 15 миллиграммов на килограмм;

— средняя смертельная доза при нанесении на кожу не более 50 миллиграммов на килограмм;

— средняя смертельная концентрация в воздухе не более 0,5 миллиграмма на литр;

ж) вещества, представляющие опасность для окружающей среды, — вещества, характеризующиеся в водной среде следующими показателями острой токсичности:

- средняя смертельная доза при ингаляционном воздействии на рыбу в течение 96 часов не более 10 миллиграммов на литр;
- средняя концентрация яда, вызывающая определенный эффект при воздействии на дафнии в течение 48 часов, не более 10 миллиграммов на литр;
- средняя ингибирующая концентрация при воздействии на водоросли в течение 72 часов не более 10 миллиграммов на литр;

2) используется оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 мегапаскаля:

- а) пара, газа (в газообразном, сжиженном состоянии);
- б) воды при температуре нагрева более 115 градусов Цельсия;
- в) иных жидкостей при температуре, превышающей температуру их кипения при избыточном давлении 0,07 мегапаскаля;

3) используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы (за исключением лифтов, подъемных платформ для инвалидов), эскалаторы в метрополитенах, канатные дороги, фуникулеры;

4) получают, транспортируются, используются расплавы черных и цветных металлов, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, рассчитанного на максимальное количество расплава 500 килограммов и более;

5) ведутся горные работы (за исключением добычи общераспространенных полезных ископаемых и разработки россыпных месторождений полезных ископаемых, осуществляемых открытым способом без применения взрывных работ), работы по обогащению полезных ископаемых;

б) осуществляется хранение или переработка растительного сырья, в процессе которых образуются взрывоопасные пылевоздушные смеси, способные самовозгораться, возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления, а также осуществляется хранение зерна, продуктов его переработки и комбикормового сырья, склонных к самосогреванию и самовозгоранию.

На территории России в настоящее время насчитывается около 100 тыс. опасных производственных объектов. В нефтяной и газовой промышленности эксплуатируется 150 тыс. км магистральных газопроводов и 50 тыс. км магистральных нефтепроводов. Протяженность водопроводных и канализационных сетей составляет 270 тыс. км, в стране эксплуатируется 40 тыс. различных резервуаров, 22 тыс. городских мостов и путепроводов. Общей тенденцией является устаревание производственных фондов. В сложившейся ситуации объективная информация о техническом состоянии технических устройств и сооружений на опасных производственных объектах является необходимым условием для принятия решения о возможности их дальнейшей эксплуатации. Настоящая книга посвящена описанию различных методов и подходов при проведении технического диагностирования и может быть полезна при разработке как программы диагностирования, так и обоснования безопасности опасного производственного объекта.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

1.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Термин «диагностика» происходит от греческого слова «диагнозис», что означает распознавание, определение. В процессе диагностики устанавливается диагноз, т. е. определяется состояние объекта (техническая диагностика).

ГОСТ 20911-89 предусматривает использование двух терминов: «техническое диагностирование» и «контроль технического состояния». Термин «техническое диагностирование» применяют, когда решаемыми задачами технического диагностирования или основной задачей являются поиск места и определение причин отказа. Термин «контроль технического состояния» применяют, когда основной задачей технического диагностирования является определение вида технического состояния.

Согласно ГОСТ 20911-89 техническая диагностика (ТД) — это область знаний, охватывающая теорию, методы и средства, определяющие техническое состояние объекта (ТС) [29, 31, 49, 58, 105, 137]. Под ТС принимается состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, значениями параметров, установленных технической документацией на объект. Различают следующие виды ТС, характеризуемые значением параметров объекта в заданный момент времени:

- исправное — объект соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации;
- неисправное — объект не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации;
- работоспособное — значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации;
- неработоспособное — значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность объекта выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации;
- предельное — дальнейшая эксплуатация объекта технически невозможна или нецелесообразна из-за несоответствия требованиям безопасности или неустраивающего снижения эффективности работы.

Понятие «исправное состояние» шире, чем понятие «работоспособное состояние». Если объект исправен, он обязательно работоспособен, но работоспособный объект может быть неисправным, так как некоторые неисправности

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ

2.1. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ

В основу методов неразрушающего контроля (НК) положены физические процессы взаимодействия физического поля или вещества с объектом контроля. Взаимодействие должно быть таким, чтобы изменения контролируемых характеристик качества (сплошность, герметичность, механические свойства, химический состав) оказывали существенное влияние на параметры поля или состояния вещества.

В процессе проведения НК осуществляется:

- определение местоположения участков с аномальными значениями параметров физических полей;
- анализ полученных данных, который позволяет установить связь первичных информативных параметров (амплитуда сигнала, интенсивность излучения, время и энергия импульса и пр.) с характеристиками качеств объекта;
- оценка качества путем сравнения параметров физических полей на дефектном участке с их допустимыми значениями, которые устанавливаются нормативно-технической документацией на контроль конкретного объекта.

Методы НК подразделяются на:

- активные;
- пассивные.

Активные методы неразрушающего контроля основаны на регистрации и анализе изменений искусственно возбуждаемого в объекте физического поля. К ним можно отнести следующие методы:

- визуальный и измерительный контроль (ВИК);
- вихретоковый контроль (ВК)
- ультразвуковой контроль (УК);
- магнитные (МК);
- контроль поверхностными веществами: капиллярный (ПВК), течеискание (ПВТ);
- электрический (ЭК);
- радиационные (РК);
- радиоволновой;
- тепловой (ТК).

3.1. ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В МЕТАЛЛАХ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Акустическая эмиссия (АЭ) — это явление генерации волн напряжения (упругих волн) при локальной перестройке структуры исследуемых объектов.

Акустическая эмиссия возникает в результате динамической перестройки структуры материала и представляет собой поток импульсов упругой энергии, имеющий характер ультразвуковых волн, испускаемых источником той или иной природы и принимаемых на поверхности изделия преобразователем АЭ (ПАЭ). Акустические поля, возникающие в металле при АЭ, имеют очень небольшую интенсивность перемещения. Это позволяет использовать фундаментальные решения волновых задач, суммируя или интегрируя их в зависимости от дискретности или непрерывности модели источника. Благодаря этому все проявления нелинейности и нестационарности АЭ процесса можно отнести на счет условий распространения сигналов АЭ.

На распространение сигналов АЭ влияют:

- среда (материал), по которой распространяется волна;
- поля внешних напряжений, являющиеся источником энергии для инициации АЭ, которые описываются начальными условиями;
- геометрия объекта и внешняя среда, которая определяет граничные условия.

К явлениям, приводящим к излучению АЭ волн, относятся три процесса:

- динамические локальные перестройки на поверхности и внутри структуры твердого тела, вызванные внешним воздействием на объект исследований (классическая акустическая эмиссия);
- утечки жидких и газообразных сред через несплошности структуры твердых тел, связанные с турбулентными либо кавитационными явлениями в каналах (акустическое течеисkanie);
- трение поверхностей твердых тел, вызванное трибоскопическими явлениями на трущихся поверхностях (акустическое течеисkanie).

Основная масса опубликованных работ по исследованию явления АЭ посвящена изучению закономерностей излучения сигналов АЭ при упругопластическом деформировании материалов, т. е. классической акустической эмиссии. Результаты этих исследований в основном обобщены в отечественной литературе в работах [4, 6, 12, 57, 60, 75, 76, 89, 90, 102, 106, 121]. В этих работах

4.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

Виброакустическая диагностика — направление технической диагностики, основанное на использовании в качестве диагностических сигналов механических колебаний деталей и узлов, акустических колебаний в твердых, жидких и газообразных средах [46, 57, 78, 107, 74].

Механические колебания характеризуются высокой информативностью и быстрой реакцией на изменения состояния деталей и узлов, а также высокой чувствительностью к дефектам на ранней стадии развития. Физические величины, характеризующие своим изменением во времени механическую вибрацию, называются колебательными.

Вибрация — это относительно малые перемещения твердого тела или его точек при механических колебаниях относительно положения равновесия. Эти колебания являются следствием взаимодействия четырех факторов: упругой реакции системы, степени ее демпфирования, силы инерции, характера и величины внешней нагрузки. Вибрационная диагностика — метод диагностирования технических систем и оборудования, основанный на анализе параметров вибрации, создаваемой работающим оборудованием, или являющейся вторичной вибрацией, обусловленной структурой исследуемого объекта. Неразрушающий контроль, основанный на измерении упругих колебаний, возникающих в объекте контроля, называют вибрационным неразрушающим контролем. Колебания движущихся частей, а также пульсации потока технологической среды создают в механическом оборудовании и трубопроводах вибрации. Параметры колебаний, наряду с величиной возмущающих сил, определяются параметрами технического состояния оборудования: наличием зазоров в сопряжениях, деформацией и износом деталей, нарушением центровки валов, ослаблением креплений и т. д. Поэтому анализ вибрационных колебаний позволяет получить необходимую информацию о состоянии оборудования. Вибрационная диагностика основана на измерении и анализе параметров вибрации диагностируемого оборудования, наиболее успешно используется для диагностики вращающегося оборудования, решая более 90 % задач определения и прогноза его состояния.

Источником колебаний объекта служат соударения его деталей. Они отличаются высокими частотами (тысячи Гц), малыми амплитудами смещения (доли мкм) и значительными ускорениями (сотни см/сек²). Колебания объекта, возбуждаемые соударением деталей, называют *акустическими колебаниями*

5.1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

При эксплуатации трубопроводов требуется своевременная оценка их работоспособности, выявление локальных аварийных участков и осуществление их ремонта. В настоящее время наиболее производительным способом контроля трубопроводов является *внутритрубная диагностика* (ВТД), которая с большой надежностью выявляет большинство дефектов труб. Внутритрубная дефектоскопия позволяет проводить обследование линейной части газопроводов на всем ее протяжении, выявлять различные несовершенства и дефекты, являющиеся потенциальными причинами аварийных отказов [79, 80].

Внутритрубная диагностика трубопроводов основана на использовании автономных приборов-дефектоскопов (поршней, pigs), движущихся внутри контролируемой трубы под напором перекачиваемого продукта (нефть, нефтепродукты, газ и т. п.). Ко времени разработки и создания внутритрубных приборов-дефектоскопов был накоплен достаточно большой опыт применения на заводах магнитной дефектоскопии труб с неочищенной поверхностью, покрытой тонким, но неравномерным слоем окалины. Прибор снабжен аппаратурой (обычно ультразвуковой или магнитной) для НК трубы, записи и хранения в памяти данных контроля и вспомогательной служебной информации, а также источниками питания аппаратуры. В связи с большим количеством повреждений труб подземных магистральных газопроводов по механизму как общей коррозии, так и стресс-коррозии в США в конце 50-х, а в СССР в конце 70-х годов были предприняты первые попытки решения проблемы по разработке и созданию внутритрубных приборов-дефектоскопов для контроля подземных трубопроводов. Отечественными специалистами еще в начале 70-х годов был разработан и создан прибор-дефектоскоп на базе постоянных магнитов для регистрации коррозионных дефектов в газонефтепроводах малого диаметра — 300 мм. УДТ-300 был изготовлен на базе постоянных магнитов феррит-барий, более поздняя модификация УДТ-350 — на постоянных магнитах самарий-кобальт. В этом было основное отличие отечественных приборов-дефектоскопов от зарубежных.

В дальнейшем появилась необходимость в разработке надежных и высокоэффективных средств ВТД магистральных трубопроводов диаметром до 1,5 м. К настоящему времени создано большое количество разных типов приборов-дефектоскопов, которые являются основным средством ВТД.

Использование магнитных методов для обнаружения дефектов в стенках подземных трубопроводов является довольно трудной задачей в научном плане

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

6.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Современные технические устройства (объекты) — это сложные системы, состоящие из множества взаимодействующих разнородных элементов (число которых может достигать десятков тысяч) и предназначенные для выполнения определенных функций. *Элемент* — это часть системы, отдельные компоненты которой не представляют самостоятельного интереса в рамках конкретного рассмотрения. Под *системой* принято понимать совокупность совместно действующих элементов и связей между ними, предназначенных для выполнения определенных заданных функций. Один и тот же объект в зависимости от той задачи, которая решается, может рассматриваться как система или как элемент. Например, двигатель обычно рассматривается как система. Однако он может стать элементом более крупного объекта — ракеты, рассматриваемой как система.

Сложность системы можно понимать как сложность в структуре, так и сложность в поведении системы (динамическая сложность). В большинстве случаев сложность системы определяется наличием большого числа элементов, входящих в ее состав, а также порядком связей ее элементов, т. е. порядком взаимодействия их и узлов системы при ее функционировании. Общую картину связей между всеми элементами системы отражает структура системы. Исследование этих структур позволяет выявлять особенности функционирования системы в различных условиях, определять требуемые характеристики и снижать риск возникновения нештатных ситуаций при эксплуатации. Это связано с тем, что отказы могут приводить к большим экономическим потерям и вызывать аварийные ситуации. Поэтому создание высоконадежных систем, обладающих высокими характеристиками в эксплуатации, является актуальной проблемой.

Наиболее общими характеристиками любых сложных систем считают эффективность и надежность. Если изделие может служить источником опасности, то для его описания используют понятия «живучесть» и «безопасность» [136].

Надежность — свойство системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ РЕСУРСА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

7.1. ВИДЫ РЕСУРСА

Ресурс является одним из показателей долговечности [114, 118, 142].

Долговечность — свойство системы сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Система может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособной, если, например, ее дальнейшее применение по назначению станет недопустимым по требованиям безопасности, экономичности и эффективности.

Понятие ресурса можно интерпретировать по-разному.

Ресурс — суммарная наработка системы (продолжительность или объем работы системы) от начала ее эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние, при котором дальнейшая эксплуатация прекращается по требованиям безопасности, экономичности и эффективности. С этим понятием тесно связано и другое — ресурсный отказ.

Под ресурсным отказом подразумевается отказ, в результате которого система достигает предельного состояния. Характеристики предельных состояний могут иметь различную природу и значения количественных параметров. Поэтому были введены следующие понятия: назначенный, технический, экономический, маркет-ресурс, экологический и морально-эстетический.

Наработка до отказа — наработка системы от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

Средний ресурс — математическое ожидание ресурса.

Остаточный ресурс — суммарная наработка системы от момента контроля ее технического состояния до перехода в предельное состояние.

Гамма-процентный ресурс — суммарная наработка, в течение которой система не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах. Здесь, как и ранее, система может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособной, если, например, дальнейшее применение по назначению станет недопустимым по требованиям безопасности, экономичности и (или) эффективности.

Назначенный ресурс — суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация системы должна быть прекращена независимо от его технического

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамов А.А.* Основы эргономики. М.: РГОТУПС, 2001. 264 с.
2. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Книга 6 / Под ред. В.А. Котляревского. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2003. 408 с.
3. Диагностирование объектов нефтегазовой промышленности: учеб. пособие / Н.А. Быстрова, В.М. Кушнарченко, Д.И. Галкин и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 231 с.
4. Акустическая диагностика и контроль на предприятиях топливно-энергетического комплекса / В.М. Баранов, А.И. Гриценко, А.М. Карасевич и др. М.: Наука, 1998. 304 с.
5. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении / Н.А. Семашко, В.И. Шпрот, Б.Н. Марьин и др. Под общ. ред. Н.А. Семашко и В.И. Шпрота. М.: Машиностроение, 2002. 240 с.
6. Акустическая эмиссия и ее применение для неразрушающего контроля в ядерной энергетике / Под ред. К.Б. Вакара. М.: Атомиздат, 1980. 216 с.
7. *Алешин Н.П.* Оценка остаточного ресурса сварных конструкций // Сварка и диагностика. 2007. № 2. С. 4–10.
8. *Алешин Н.П.* Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: Учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2006. 368 с.
9. *Алешин Н.П., Бигус Г.А., Лютов М.А.* Диагностирование объектов стартовых комплексов изделий ракетно-космической техники с использованием акустических методов контроля // Дефектоскопия. 2002. № 2. С. 3–14.
10. *Алешин Н.П., Ермолов И.Н., Потапов А. И.* Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практ. пособие. М.: Высш. шк., 1991. 283 с.
11. *Алешин Н.П., Щербинский В.Г.* Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий: учеб. для ПТУ. М.: Высш. шк., 1991. 271 с.
12. *Андрейкив А.Е., Лысак Н.В.* Метод акустической эмиссии в исследовании процессов разрушения. Киев: Наук. думка, 1989. 176 с.
13. *Бакунов А.С., Шатерников В.Е., Шлеин Д.В.* Вейвлет-анализ магнитного поля дефекта сплошности в ферромагнитном изделии. Исследование коэффициентов вейвлетного преобразования внутреннего дефекта сплошности. // Неразрушающий контроль и техническая диагностика: тез. докл. 18 Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Н. Новгород 29.09.08–03.10.08. М.: Машиностроение, 2008. С. 17–18.
14. *Баранов В.М., Молодцов К.И.* Акустико-эмиссионные приборы ядерной энергетике. М.: Атомиздат, 1980. 144 с.
15. *Бартенев Г.М.* Прочность и механизм разрушения полимеров. М.: Химия, 1984. 280 с.

16. Бигус Г.А. Акустические волны, возникающие при взаимодействии тел с корпусом объекта контроля // Производство и надежность сварных конструкций: Сб. докл. науч.-техн. конф. стран СНГ. Калининград, 1993. С. 121.
17. Бигус Г.А. Диагностирование объектов стартовых комплексов изделий ракетно-космической техники с использованием акустических методов контроля // Ультразвуковая дефектоскопия металлоконструкций: Сб. докл. XVIII Всерос. конф. СПб., 2001. С. 16–18.
18. Бигус Г.А. Применение метода акустической эмиссии для исследования дефектности элементов конструкции // Сб. докл. III Всесоюз. совещ. по физике отказов. М., 1984. С. 167–168.
19. Бигус Г.А. Требования к системам технического диагностирования оборудования стартовых комплексов ракет-носителей // Свароч. пр-во. 2004. № 10. С. 50–55.
20. Бигус Г.А. Требования к системам технического диагностирования оборудования стартовых комплексов ракет-носителей // Технология машиностроения. 2004. № 5. С. 46–52.
21. Бигус Г.А. Эмиссия волн напряжения при циклических испытаниях алюминиевых сплавов АМг6 // Динамические характеристики механических систем. Киев: Наук. думка, 1984. С. 62–68.
22. Бигус Г.А., Алешин Н.П. Особенности проведения акустико-эмиссионного контроля объектов при решении задач определения ресурса их эксплуатации // Неразрушающий контроль и диагностика: Сб. докл. XVI Рос. науч.-техн. конф. СПб., 2002. С. 138–139.
23. Бигус Г.А., Даниев Ю.Ф. Техническая диагностика опасных производственных объектов. М.: Наука, 2010. 415 с.
24. Бигус Г.А., Дорохова Е.Г. Идентификация источников акустической эмиссии на основе параметров распределения вероятности амплитуды сигнала акустической эмиссии // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. 1998. № 3. С. 25–31.
25. Бигус Г.А., Зайчук В.И. Дефекты стальных вертикальных цилиндрических сварных резервуаров для хранения нефтепродуктов // Технология машиностроения. 2003. № 2. С. 45–48.
26. Бигус Г.А., Зайчук В.И. Обнаружение коррозионного поражения внутренней стенки резервуара акустико-эмиссионным методом // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. № 5. С. 38–41.
27. Бигус Г.А., Теплинский Ю.А. Применение метода акустической эмиссии для оценки эффективности ремонтных мероприятий на линейной части магистральных газопроводов // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. 2000. № 5. С. 39–44.
28. Бигус Г.А., Шип В.В. Прогнозирование разрушающего давления объектов, работающих под нагрузкой, на основе анализа акустико-эмиссионных параметров материалов и сварных швов // Сварные конструкции: Сб. докл. Междунар. конф. Киев, 1990. С. 16–21.
29. Биргер И.А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.
30. Бирюков Г.П., Смирнов В.И., Торпачев А.В. Разработка систем обеспечения безопасности функционирования ракетно-космических комплексов. М.: Машиностроение, 2002. 236 с.

31. *Богданов Е.А.* Основы технической диагностики нефтегазового оборудования: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2006. 279 с.
32. *Болотин В.В.* Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984. 312 с.
33. *Болотин Ю.И., Маслов Л.А., Полунин Р.И.* Установление корреляции между размерами трещины и амплитудой импульсов АЭ // Дефектоскопия. 1975. № 4. С. 11–22.
34. *Борщевская Д.Г., Бигус Г.А., Эвина Т.Я. и др.* Исследование неравномерности пластической деформации методом акустической эмиссии // Физика металлов и металловедение. 1989. № 68, вып. 1. С. 192–196.
35. *Брендат Дж., Пирсон А.* Применения корреляционного и спектрального анализа / Пер. с англ. В.Е. Привальского. М.: Мир, 1983. 312 с.
36. *Бреховских Л.М., Гончаров В.В.* Введение в механику сплошных сред. М.: Наука, 1982. 334 с.
37. *Брусенцов В.Г., Ворожбян М.И., Брусенцов О.В., Бугайченко И.И., Гончаров А.В.* Надежность железнодорожных операторов как фактор безопасности движения // Информационно-керуюч системи на залзничному транспорт. 2009. № 2. С. 68–72.
38. *Будадин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В.* Тепловой контроль. М.: Изд. дом «Спектр», 2013. 176 с.
39. *Буденков Г.А., Недзвецкая О.В.* Волны Рэлея, излучаемые моделями источников акустической эмиссии // Дефектоскопия. 1992. № 4. С. 8–16.
40. *Буйло С.И., Трипанин А.С.* Об информативности амплитудного распределения сигналов акустической эмиссии // Дефектоскопия. 1979. № 12. С. 32–41.
41. *Бурков В.Н., Грацианский Е.В., Дзюбо С.И., Щепкин А.В.* Модели и механизмы управления безопасностью. М.: СИНТЕГ, 2001. 160 с.
42. *Бухтияров И.Д., Серьезнов А.Н., Степанова Л.Н.* Контроль качества продукции: Акустическая эмиссия. М.: Знание, 1988. 62 с.
43. *Быстрова Н.А. и др.* Диагностика зубчатых венцов вращающихся печей // Сварка и диагностика. 2012. № 2. С. 39–41.
44. *Быстрова Н.А. и др.* Проблемы внедрения технологий НК объектов котлонадзора // Технадзор. 2013, № 4(77). С. 18–19.
45. *Вахавиолос С.Дж., Вонг В.Д.* Совершенствование метода и средств акустическо-эмиссионного контроля работающего оборудования: Оценка возможности дальнейшей эксплуатации (ВДЭ) и неразрушающий контроль на основе анализа рисков (ОВ-ДЭ/КОАР) // Тез. докл. III Междунар. конф. «Диагностика трубопроводов». М., 2001. С. 217.
46. *Вибрации в технике: Справочник: В 6 т. / Ред. совет: В.Н. Челомей.* М.: Машиностроение, 1981. Т. 5: Измерения и испытания / Под ред. М.Д. Генкина. 496 с.
47. *Викторов И.А.* Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М.: Наука, 1966. 169 с.
48. *Волков Л.И., Рудаков В.Б.* Статистический контроль иерархических систем. М.: Изд-во СИП РИА, 2002. 360 с.
49. *Воскобоев В.Ф.* Надежность технических систем и техногенный риск. М.: ООО ИД «Альянс», 2008. Ч. 1. 200 с.

50. *Галкин Д.И.* Разработка методики безобразцовой экспресс-диагностики поврежденности металла эксплуатируемых магистральных нефтепроводов на основе метода акустической эмиссии. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2011. 134 с.
51. *Генкин М.Д., Соколова А.Г.* Виброакустическая диагностика машин и механизмов. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.
52. *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.* Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 521 с.
53. *Горбунов А.И., Лыков Ю.И.* Влияние амплитудно-частотной характеристики объекта контроля на измерение спектров акустической эмиссии // Дефектоскопия. 1988. № 12. С. 35–41.
54. *Горелик А.Л.* Алгоритмы распознавания систем технической диагностики // Диагностика и прогнозирование разрушения свар. конструкций. 1986. № 3. С. 22–28.
55. ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.
56. *Грешиников В.А., Брагинский А.П.* Применение статистической обработки сигналов акустической эмиссии для прогнозирования смены стадий деформаций при статическом нагружении образцов из трубной стали // Метрология. 1979. № 10. С. 5–11.
57. *Грешиников В.А., Дробот Ю.И.* Акустическая эмиссия. М.: Изд-во стандартов, 1976. 270 с.
58. *Громов О.Г., Додин И.С., Галкин О.С.* Внедрение методов НК технического состояния при эксплуатации космических комплексов // В мире неразрушающего контроля. 2004. № 4. С. 1–8.
59. *Гуменюк В.А., Сульженко В.А., Казанови В.А.* и др. Система классификации степени опасности источников акустической эмиссии и критерии экспресс-оценки состояния объекта на основе нечетной логики // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. 2003. № 1. С. 14–23.
60. *Гусев О.В.* Акустическая эмиссия при деформировании монокристаллов тугоплавких металлов. М.: Наука, 1982. 108 с.
61. *Даниев Ю.Ф., Пошивалов В.П.* Оценка остаточного ресурса сложных технических систем // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. «Актуальн проблеми механки суцльного середовища мцност конструкуй». Днепропетровск: ДНУ, 2007. С. 385–386.
62. *Даниев Ю.Ф.* Экстремальные значения среднего ресурса систем с резервированием // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. «Надежность и безопасность систем». Минск, 1997. С. 31.
63. *Даниев Ю.Ф., Демченко А.В., Пошивалов В.П.* Асимптотические свойства остаточного ресурса сложных технических систем // Математичні проблеми технчно механіки: Матеріали Междунар. науч. конф., 2008. Днепропетровск; Днепродзержинск, 2008. С. 48.
64. *Даниев Ю.Ф., Переверзев Е.С.* Прогнозирование ресурса технических систем на основе экспертных интервальных оценок // Техн. механика. Вып. 7. 1998. С. 149–155.

65. *Даниев Ю.Ф., Рыжов В.П.* Формирование признаков при распознавании сложных акустических сигналов // Прикл. акустика, ТРТИ. 1985. Вып. 11. С. 134–137.
66. *Дженкинс Г., Ваттс Д.* Спектральный анализ и его приложения. Вып. 1. М.: Мир, 1971. 316 с.
67. *Дорохов А.Н., Керножицкий В.А., Миронов А.Н., Шестопалова О.Л.* Обеспечение надежности сложных технических систем. СПб.: Издательство «Лань», 2011. 352 с.
68. *Дробот Ю.Б., Лупанос В.В., Билибин В.В.* Исследование акустической эмиссии при истечении воды в атмосферу через отверстия малого диаметра // Дефектоскопия. 1981. № 4. С. 16–22.
69. *Дружинин Г.В.* Надежность автоматизированных систем. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1977. 536 с.
70. *Ерминсон А.Л., Муравин Г.Б., Шип В.В.* Акустико-эмиссионные приборы и системы // Дефектоскопия. № 5. 1986. С. 3–11.
71. *Животкевич И.Н., Смирнов А.П.* Надежность технических систем. М.: Олита, 2003. 472 с.
72. *Жиров В.Е., Захарова С.В., Триполи А.С.* и др. Расчет активных элементов преобразователей для акустико-эмиссионного контроля атомных реакторов // Изв. СКНЦ ВШ. Естеств. науки. 1990. № 2. С. 27–31.
73. *Загидулин Р.В., Мужижцкий В.Ф., Шлеин Д.В., Загидулин Т.Р.* Вейвлет-анализ магнитного поля дефекта сплошности в ферромагнитном изделии. Часть 3. Исследование коэффициентов вейвлетного преобразования поверхностного и внутреннего дефектов сплошности. Контроль. Диагностика. 2008. № 7. С. 18–24.
74. *Зусман Г.В., Барков А.В.* Вибродиагностика: учеб. пособие / под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Издательский дом «Спектр», 2011. 215 с.
75. *Иванов В.И.* Применение метода акустической эмиссии для неразрушающего контроля и исследования материалов: (Обзор основных проблем и задач) // Дефектоскопия. 1980. № 5. С. 65–84.
76. *Иванов В.И., Белов В.М.* Акустико-эмиссионный контроль сварки и сварных соединений. М.: Машиностроение, 1981. 113 с.
77. *Иванов В.И., Бигус Г.А., Власов И.Э.* Акустическая эмиссия: учеб. пособие / Под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Издательский дом «Спектр», 2011. 192 с.
78. *Иорш Ю.И.* Виброметрия. М.: Машгиз, 1963. 771 с.
79. *Канайкин В.А.* Внутритрубная магнитная дефектоскопия магистральных трубопроводов. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 308 с.
80. *Канайкин В.А.* Развитие теории и разработка высокоэффективных методов, средств и технологии внутритрубной дефектоскопии магистральных газопроводов для обеспечения их безопасной эксплуатации. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Москва, 2010. 59 с.
81. *Каневский И.Н., Сальникова Е.Н.* Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. 243 с.
82. *Коллакот Р.* Диагностика повреждений: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 512 с.
83. *Корепанов В.В., Кулеш М.А., Шардаков И.Н.* Использование вейвлет-анализа для обработки экспериментальных вибродиагностических данных: метод.

- материал к спецкурсу «Современные проблемы механики». Пермь: Перм. ун-т., 2007. 64 с.
84. *Костюков В.Н., Науменко А.П.* Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. 100 с.
 85. *Костюков В.Н., Науменко А.П., Бойченко С.Н., Тарасов Е.В.* Основы виброакустической диагностики машинного оборудования. Омск: НПЦ «ДИНАМИКА», 2007. 286 с.
 86. *Кретов Е.Ф.* Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. СПб.: Изд-во «Свен», 2007. 296 с.
 87. *Крылов В.А.* Практический подход к решению задач акустико-эмиссионной диагностики оборудования АЭС // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. 1990. № 1. С. 77–85.
 88. *Крылов В.А.* Физический смысл спектрального анализа в акустико-эмиссионной диагностике // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. 1991. № 1. С. 16–20.
 89. *Кудрявцев Е.М., Баранов В.М., Сарычев Г.А.* Акустическая эмиссия при трении. М.: Энергоатомиздат, 1998. 256 с.
 90. *Куксенко В.С.* Модель перехода от микро- к макроразрушению твердых тел // Физика прочности и пластичности: Сборник. Л.: Наука, 1986. С. 36–41.
 91. *Лейфер Л.А.* Методы прогнозирования остаточного ресурса машин и их программное обеспечение. М.: Знание, 1988. 120 с.
 92. *Лыков Ю.И.* Измерение спектральной плотности в исследованиях акустической эмиссии // Метрология. 1977. № 7. С. 51–56.
 93. *Майерс Г.* Надежность программного обеспечения. М.: Мир, 1980. 360 с.
 94. *Майоров А.А.* Компьютерная радиография с использованием флуоресцентных запоминающих пластин — что это такое? // В мире НК. 2004. № 3(25). С. 42–43.
 95. *Малафеев С.И., Копейкин А.И.* Надежность технических систем. Примеры и задачи: Учеб. пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2012. 320 с.
 96. *Малинский В.Д., Бегларян В.Х., Дубицкий Л.Г.* Испытания аппаратуры и средств измерений на воздействие внешних факторов: справочник / Под ред. В.Д. Малинского. М.: Машиностроение, 1993. 576 с.
 97. *Маслов Б.Г.* Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2008. 272 с.
 98. *Методика по ультразвуковому контролю стыковых кольцевых сварных соединений стальных и полиэтиленовых газопроводов (для преобразователей хордового типа).* Согл. с отделом газового надзора Госгортехнадзора России письмом № 14-0/229 от 21.05.2004.
 99. *Мильман И.И.* Радиоволновой, тепловой и оптический контроль. Ч. 1, учеб. пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. 75 с.
 100. *Муравин Г.Б., Симкин Я.В., Мерман А.И.* Идентификация механизма разрушения материалов методами спектрального анализа сигналов акустической эмиссии // Дефектоскопия. 1989. № 4. С. 2–5.
 101. *Мурзаханов Г.Х., Быстрова Н.А.* Методы оценки остаточного ресурса трубопроводов. М.: Сертинк, 2008. 103 с.

102. *Нацик В.Д., Чижко К.А.* Звуковое излучение дислокаций, движущихся у поверхности кристаллов // ФТТ. 1978. Т. 20, вып. 2. С. 45–65.
103. *Недосека А.Я.* Основы расчета и диагностики сварных конструкций. Киев: Индпром, 2001. 815 с.
104. *Недосека А.Я., Недосека С.А., Олейник Р.А.* Распространение волн акустической эмиссии в пластинах от действия локального источника излучения // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. 2001. № 3. С. 4–10.
105. *Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др.* Под ред. В.В. Клюева. 3-е изд. и доп. М.: Машиностроение, 2005. 656 с.
106. *Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под ред. В.В. Клюева.* М.: Машиностроение, 2005. Т. 7, кн. 1: Метод акустической эмиссии. 340 с.
107. *Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под ред. В.В. Клюева.* М.: Машиностроение, 2005. Т. 7, кн. 2: Виброакустическая диагностика. 240 с.
108. *Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева.* Т. 4: В 3 кн. Кн. 2: Г.С. Шелихов. Магнитопорошковый метод контроля. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2006. 736 с.
109. *Нерсесян Л.С., Конопкин О.А.* Инженерная психология и проблема надежности машиниста. М. «Транспорт». 1978. 239 с.
110. *Основные методы контроля качества сварки.* URL: <http://www.metalika.ua/node/319096> (дата обращения 23.07.2013).
111. *ОСТ 153-39.4-010-2002* Методика определения остаточного ресурса нефтегазопромысловых трубопроводов и трубопроводов головных сооружений. М: Минэнерго России, 2002. 57 с.
112. *ОСТ 26-260-14.* Отраслевой стандарт. Сосуды и аппараты, работающие под давлением. Способы контроля герметичности. Взамен ОСТ 26-11-14-88; введен 01.06.2004.
113. *Острейковский В.А.* Старение и прогнозирование ресурса оборудования атомных станций. М.: Энергоатомиздат, 1994. 288 с.
114. *Острейковский В.А.* Теория надежности. М.: Высш. шк., 2003. 463 с.
115. *Оценка технического состояния и ресурса нефтегазохимического оборудования / Р.С. Зайнуллин, А.Г. Гумеров и др.* М.: Недра, 2004. 286 с.
116. *Переверзев Е.С., Бигус Г.А., Борщевская Д.Г., Тихий В.Г.* Оценка эффективности применения метода акустической эмиссии при выявлении трещиноподобных дефектов сварки топливных емкостей // Техн. механика сложных систем. 1987. № 1. С. 15–19.
117. *Переверзев Е.С., Бигус Г.А., Тихий В.Г.* и др. Характер акустической эмиссии при разрушении сварных соединений с технологическими дефектами // Диагностика и прогнозирование разрушения сварных конструкций. 1986. Вып. 3. С. 83–86.
118. *Половко А.М., Гуров С.В.* Основы теории надежности. СПб.: БХВ–Петербург, 2006. 704 с.
119. *Полок А.* Акустико-эмиссионный контроль // Металлы. 9-е изд. Т.17. ASM Intern. 1989. С. 278–294.
120. *Мищенко С.В., Малков Н.А.* Проектирование радиоволновых (СВЧ) приборов неразрушающего контроля: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 128 с.

121. *Прочность* и акустическая эмиссия материалов и элементов конструкций / В.А. Стрижало, Д.В. Добровольский, В.А. Стрельченко и др. Киев: Наук. думка, 1990. 232 с.
122. *Пьезокерамические преобразователи: Справочник* / Под ред. С.И. Пугачева. Л.: Судостроение, 1984. 256 с.
123. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю; Введен 17.07.2003.
124. РД 09-102-95 «Методические указания по определению остаточного ресурса потенциально опасных объектов, поднадзорных Госгортехнадзору России».
125. РД ИКЦ «КРАН» 009-99. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса сосудов, работающих под давлением, при проведении экспертизы промышленной безопасности. М., 2002.
126. РД ИКЦ «КРАН»-007-97/02. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса подъемных сооружений при проведении обследования и техническом диагностировании (экспертизе промышленной безопасности). М., 2002.
127. РД ЭО 0027-2005. Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости. М.: Росэнергоатом, 2005. 58 с.
128. РД-13-05-2006. Методические рекомендации о порядке проведения магнитопорошкового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах; введен 25.12.2006.
129. РД-19.100.00-КТН-001-10 Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов. Взамен РД-08.00-60.30.00-КТН-046-1-05; введен 18.01.2010.
130. *Садыхов Г.С., Кузнецов В.И.* Методы и модели оценок безопасности сверхназначенных сроков эксплуатации технических объектов. М: Изд-во ЛКИ, 2007. 144 с.
131. *Сборник задач по теории надежности* / Под ред. А.М. Половко и И.М. Маликова. М.: Советское радио, 1972. 408 с.
132. *Седалищев В.Н.* Физические основы получения информации: учеб. пособие. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. Ч. 1. Генераторные и параметрические измерительные преобразователи. 283 с.
133. *Серьезнев А.Н., Степанова Л.Н., Кабанов С.И., Кареев А.Е.* Акустико-эмиссионный контроль авиационных конструкций. М: Машиностроение, 2008. 440 с.
134. *Смажеская Е.Г., Фельдман Н.Б.* Пьезокерамическая керамика. М.: Советское радио, 1971. 200 с.
135. СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы / Госстрой России. М.: ГУЛ ЦПП. 1998. 60 с.
136. *Стекольников Ю.И.* Живучесть систем. СПб.: Политехника, 2002. 155 с.
137. *Технические средства* диагностирования: Справочник / Под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1989. 672 с.
138. *Тихий В.Г., Борщевская Д.Г., Бигус Г.А.* Акустическая эмиссия в сплаве АМг6М и его сварных соединениях с технологическими дефектами //

- Диагностика и прогнозирование разрушения сварных конструкций. 1985. № 3. С. 78–86.
139. *Тихий В.Г., Борщевская Д.Г., Бигус Г.А.* и др. Исследование кинетических процессов деформирования и разрушения свариваемого сплава АМг6М методом акустической эмиссии // *Автомат. сварка*. 1984. № 5. С. 9–12.
140. *Трипалин А.С., Буйло С.И.* Акустическая эмиссия: Физ. аспекты. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1988. 160 с.
141. *Троицкий В.А.* Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин. Киев: Изд-во «Феникс», 2002. 300 с.
142. *Труханов В.М.* Надежность в технике. М.: Машиностроение, 1999. 598 с.
143. *Ультразвуковой дифракционно-временной метод НК.* URL: <http://tofd-ra.ru/tofd> (дата обращения 23.07.2013).
144. *Ультразвуковой контроль материалов: Справ. изд. Й. Крауткремер, Г. Крауткремер; Пер. с нем.* М.: Металлургия, 1991. 752 с.
145. *Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля / Под ред. И.Н. Ермолова.* М.: Машиностроение, 1986. 280 с.
146. *Феррозондовые преобразователи магнитного поля, принцип действия, конструкция.* URL: <http://vbibl.ru/fizika/33513/index.html?page=8> (дата обращения 22.07.2013).
147. *Филинов М.В., Прохоренко П.П.* Физические основы и средства капиллярной дефектоскопии. М, 2008. 380 с.
148. *Финкель В.М., Муравин Г.Б., Лезвинская Л.М.* О прогнозировании разрушений по акустической эмиссии // *Дефектоскопия*. 1979. № 2. С. 55–60.
149. *Фирстов В.Г., Застрогин Ю.Ф., Кулебякин А.З.* Автоматизированные приборы диагностики и испытаний. М.: Машиностроение, 1995. 223 с.
150. *Харегов В.Г., Бородин Ю.П., Шапорев В.А.* Система комплексного диагностического мониторинга опасных производственных объектов // *В мире неразрушающего контроля*. 2006. № 4(31). С. 13–17.
151. *Харегов В.Г., Жуков А.В., Кузьмин А.Н.* Практическая оценка метода акустической эмиссии на технологических газопроводах // *В мире неразрушающего контроля*. 2008. № 3(41). С. 24–26.
152. *Чайчук Д.И., Морговский Л.Я.* Люминофорная цифровая система для компьютерной радиографии // *В мире НК*. 2000. № 1(7). С. 20–21.
153. *Шалаев А.А.* Взаимодействие дефектов и фотостимулированная люминесценция во фторидах бария: автореф. дис. . . . канд. физ.-мат. наук. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2003. 20 с.
154. *Шелихов Г.С., Глазков Ю.А.* Достоинства и недостатки способов магнитопорошкового контроля деталей // *Дефектоскопия*. 2011. № 8. С. 54–62.
155. *Шип В.В., Бигус Г.А., Дорохова Е.А.* Акустико-эмиссионная система диагностики состояния ответственных металлоизделий // *Техн. диагностика и неразрушающий контроль*. 1997. № 3. С. 56–59.
156. *Шихман В.М., Гринева Л.Д.* Преобразователи акустической эмиссии на основе современных пьезоматериалов // *Техн. диагностика и неразрушающий контроль*. 1994. № 1. С. 3–8.
157. *Шухостанов В.К.* Некоторые достижения и проблемы применения АЭ в промышленности // *Техн. диагностика и неразрушающий контроль*. 1993. № 1. С. 29–42.

158. Щенковский В.И. Визуально-оптический и измерительный контроль. Запорожье: Изд-во ОАО «Мотор Сич», 2004. 316 с.
159. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: Учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 104 с.
160. ISO 10863:2011. Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing – Use of time-of-flight diffraction technique.
161. *Oberflächen-Rissprüfung mit dem Farbeindring-Verfahren im Vergleich mit dem Magnetpulver-Rissprüfverfahren.* URL: <http://podcast.uni-wuppertal.de/2010/03/15/oberflaechenrisspruefung-mit-dem-farbeindringverfahren> (дата обращения 23.07.2013).
162. Shikhman V. M. The Improvement of the Transducert for Acoustik Evaluation Methods // Review of Progress in Quantitative NDE. Abstracts. University of Washington (Seattle, USA). 1995. July. 151 p.
163. Stanley H., Buldyrev S., Goldberger A., Havlin S., Peng C.-K., Simons M. Scaling Features of Noncoding DNA // Physica A. 1999 V. 273 P. 118.
164. Stroppe H., Schiebold K. Wirbelstrom-Materialprüfung. Ein Lehr- und Arbeitsbuch für Ausbildung und Prüfpraxis. Wuppertal: Castell-Verlag GmbH / Carl Deusch GmbH, 2012. 250 s.
165. Tondon K. N., Tangri K. An acoustic emission study on deformation behavior of strangely polycrystalline samples of Fe-3 % // Materials science and engineering. 1977. V. 29. P. 13–20.
166. U. Ewert, BAM Berlin, U. Zscherpel, BAM Berlin, K. Bavendiek. YXLON International X-Ray, Hamburg, Digitale Radiologie in der ZfP – Belichtungszeit und Kon-trastempfindlichkeit – Der Äquivalenzwert zur optischen Dichte des Films, DGZfP-Jahrestagung, Rostock, 2.-4.5.2005, Proceedings CD, v23.pdf und ZfP-Zeitung 97, 2005, P. 41–47.
167. Yashan A. Über die Wirbelstromprüfung und magnetische Streuflussprüfung mittels GMR-Sensoren. Forschungs-Bericht. Fraunhofer: IZFP, 2008. 94 s.

Научное издание

Бигус Георгий Аркадьевич
Даниев Юрий Фаизович
Быстрова Наталья Альбертовна
Галкин Денис Игоревич

ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И СООРУЖЕНИЙ

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н. Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 01.11.2017. Формат 70×100 1/16.
Усл. печ. л. 36,4. Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru www.baumanpress.ru

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские Технологии»
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5.