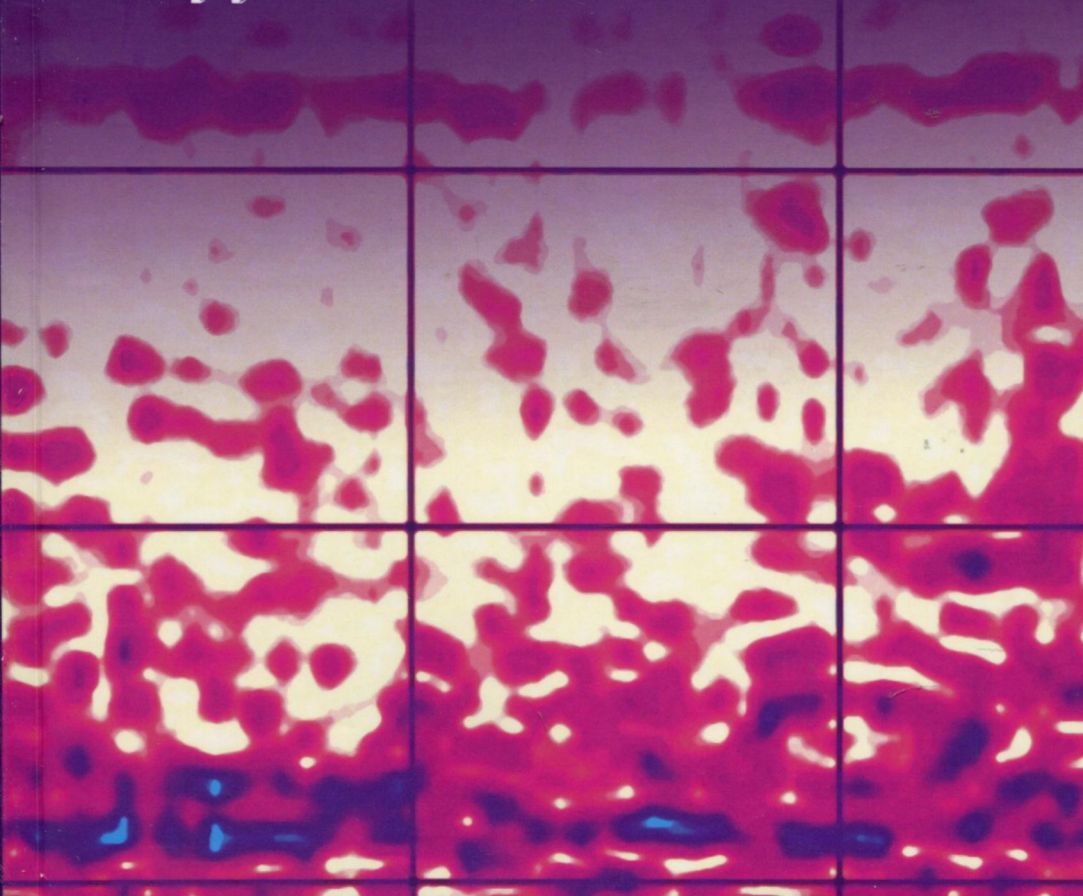


В.К.Качанов, В.Г.Карташёв,
И.В.Соколов, Л.В.Воронкова,
Е.В.Шалимова

СТРУКТУРНЫЙ ШУМ В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ



**В.К.Качанов, В.Г.Карташёв,
И.В.Соколов, Л.В.Воронкова,
Е.В.Шалимова**

СТРУКТУРНЫЙ ШУМ В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Второе издание, стереотипное



Москва
Издательский дом МЭИ
2022

УДК 620.179.16
ББК 32.873
С 873

Авторы: В.К. Качанов, В.Г. Карташёв, И.В. Соколов,
Л.В. Воронкова, Е.В. Шалимова

Структурный шум в ультразвуковой дефектоскопии /
С 873 В.К. Качанов, В.Г. Карташёв, И.В. Соколов и др. — 2-е изд.,
стер. — М.: Издательский дом МЭИ, 2022. — 186 с.; ил.

ISBN 978-5-383-01557-5

Рассмотрена проблема ультразвукового контроля изделий с высоким уровнем структурного шума, возникающего как результат обратного рассеивания ультразвукового зондирующего сигнала на элементах структуры (акустических неоднородностях) исследуемого материала и маскирующего информационные сигналы (эхо-сигналы от дефектов или от дна изделия). Определены корреляционные характеристики (автокорреляционная и взаимная корреляционная функции, радиус корреляции) структурного шума, с учетом которых проведен выбор оптимальных алгоритмов пространственно-временной обработки сигналов в целях выделения информационного сигнала из структурного шума. Определены статистические характеристики структурного шума (дисперсия, энергетический спектр, мгновенный энергетический спектр). Показано, что на основе их анализа можно осуществлять мониторинг состояния структуры изделий из сложноструктурных материалов для прогнозирования безаварийной работы в процессе их эксплуатации.

Первое издание книги выпущено в Издательском доме МЭИ в 2016 году.

Монография предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся ультразвуковым неразрушающим контролем качества изделий. Может быть также полезна студентам технических учебных заведений.

УДК 620.179.16
ББК 32.873

ISBN 978-5-383-01557-5

© Авторы, 2022
© АО «Издательский дом МЭИ», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Обозначения и сокращения	6
Список основных обозначений	7
Введение	9
1. Проблемы, состояние и перспективы ультразвукового контроля изделий с высоким уровнем структурного шума	11
1.1. Особенности совершенствования приборов и развития методов ультразвукового неразрушающего контроля изделий	11
1.2. Проблемы УЗ НК крупногабаритных изделий с большим интегральным затуханием сигналов	14
1.3. Проблемы УЗ НК крупногабаритных изделий из сложноструктурных материалов с высоким уровнем структурного шума	18
1.3.1. Структурный шум как результат рассеивания УЗ-сигналов в сложноструктурных материалах	18
1.3.2. Влияние характеристик структуры и параметров зондирующего сигнала на уровень структурного шума	21
1.4. Примеры ультразвуковой структуроскопии сложноструктурных материалов, осуществляемой посредством анализа структурного шума	27
1.4.1. Основные способы ультразвуковой структуроскопии изделий	27
1.4.2. Особенности ультразвуковой структуроскопии изделий из титанового сплава	29
1.4.3. Особенности ультразвуковой структуроскопии изделий из чугуна	30
1.5. Проблемы ультразвукового контроля изделий из бетона	35
1.5.1. Особенности объектов контроля из бетона	35
1.5.2. Особенности низкочастотного УЗ-контроля бетонных изделий	37
1.5.3. Неравномерность распределения свойств бетона по объему изделия	39
1.5.4. Определение прочности бетона по скорости ультразвука ..	40
1.6. Традиционные методы повышения чувствительности при контроле протяженных изделий из сложноструктурных материалов	43
1.7. Радиотехнические методы повышения чувствительности при контроле протяженных изделий. Сложномодулированные сигналы. Адаптивная многофункциональная аппаратура контроля	46

1.8. Анализ одноканальных методов повышения чувствительности при УЗ-дефектоскопии изделий с высоким уровнем структурного шума	55
1.9. Понятие о пространственной обработке сигналов при УЗ-контроле сложноструктурных изделий	60
2. Статистические характеристики структурного шума	72
2.1. Структурный шум как помеха в УЗ-дефектоскопии материалов с неоднородной структурой	72
2.2. Основные положения теории пространственно-временной обработки сигналов	74
2.3. Теоретическая модель структурного шума для задач ПВОС	78
2.4. Анализ дисперсии структурного шума	80
2.5. Корреляционные характеристики структурного шума	88
2.5.1. Автокорреляционная функция структурного шума	89
2.5.2. Модель формирования структурного шума для анализа его взаимно корреляционных свойств	91
2.5.3. Корреляционные характеристики структурного шума при использовании «малоапертурных» преобразователей продольных ультразвуковых волн	94
2.5.4. Корреляционные характеристики структурного шума при использовании «малоапертурных» преобразователей поперечных ультразвуковых волн	97
2.5.5. Проверка адекватности теоретической модели с помощью математического моделирования	99
2.5.6. Корреляционные характеристики структурного шума при использовании «апертурных» преобразователей	101
2.5.7. Экспериментальное определение корреляционных характеристик структурного шума	104
2.6. Корреляционные характеристики структурного шума при использовании раздельно-совмещенных датчиков и метода синтезированной апертуры	106
2.7. Энергетический спектр структурного шума	109
3. Выбор параметров пространственно-временной обработки сигналов при ультразвуковом контроле изделий с высоким уровнем структурного шума	116
3.1. Общие принципы пространственно-временной обработки сигналов для различных условий УЗ-контроля сложноструктурных материалов	116
3.2. Сравнительный анализ оптимального и квазиоптимального алгоритмов ПВОС	118
3.3. Оптимизация топологии антенных систем. Выбор шага антенной решетки при высоком уровне структурного шума	123
3.3.1. Постановка задачи	123

3.3.2. Закономерности суммирования взаимно коррелированных реализаций структурного шума	125
3.3.3. Выбор шага для линейной антенной решетки	126
3.3.4. Выбор шага антенной решетки в режиме SAFT-C	129
3.3.5. Выбор шага перемещения раздельно-совмещенного датчика в режиме синтезированной апертуры	131
3.3.6. Выводы и рекомендации	135
3.4. Результаты экспериментов по выделению донного сигнала из структурного шума при использовании раздельно-совмещенных ПЭП	136
3.4.1. Ультразвуковой контроль изделия из сложноструктурной стали	136
3.4.2. Особенности применения ПВОС при ультразвуковой структуроскопии чугунных изложниц, подвергшихся термоциклированию	140
3.5. Особенности применения ПВОС при ультразвуковом контроле изделий с ограниченной площадью контакта	147
3.5.1. Метод ПВОС, основанный на вращении раздельно-совмещенного ПЭП вокруг своей оси	147
3.5.2. Проблемы контроля больших колоколов из бронзы старинного литья. Особенности структуры колокольной бронзы	148
3.5.3. Особенности УЗ-контроля звукового кольца больших колоколов из бронзы старинного литья	152
3.5.4. Особенности УЗ-контроля фрагмента Царь-колокола	154
3.5.5. Требования к раздельно-совмещенному широкополосному мозаичному преобразователю, предназначенному для ПВОС, использующей вращение датчика вокруг своей оси	155
4. Алгоритмический метод повышения отношения донный сигнал/структурный шум при измерении толщины крупногабаритных изделий из сложноструктурных материалов	161
4.1. Использование фазированных антенных решеток для построения изображений точечного и плоскостного отражателей с помощью алгоритма «фокусировка в точку»	161
4.2. Построение изображений точечного и плоскостного отражателей с помощью алгоритма «фокусировка на плоскость»	169
4.3. Повышение отношения донный сигнал/структурный шум с помощью алгоритма «фокусировка на плоскость»	173
4.4. Использование пространственной обработки сигналов для повышения отношения донный сигнал/структурный шум	176
Список литературы	180