

*А.И. КОХ, М.С. ГАСПАРОВ, С.А. ПЕТРЕНКО*

**АКУСТИЧЕСКАЯ И ВИБРАЦИОННАЯ  
ДИАГНОСТИКА ПНЕВМО-  
И ГИДРОСИСТЕМ**

**2006**



**САМАРА**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА»

*А.И. КОХ, М.С. ГАСПАРОВ, С.А. ПЕТРЕНКО*

## АКУСТИЧЕСКАЯ И ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ПНЕВМО- И ГИДРОСИСТЕМ

*Утверждено редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2006

А



Инновационная образовательная программа  
"Развитие центра компетенции и подготовка  
специалистов мирового уровня в области аэро-  
космических и геоинформационных технологий"

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И. С. Загузов

**Кох А.И.**

**К 75** **Акустическая и вибрационная диагностика пневмо- и гидросистем:**  
учеб. пособие / *А.И. Кох, М.С. Гаспаров, С.А. Петренко* – Самара:  
Изд – во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 84 с.: ил.

**ISBN 5-7883-0481-4**

Рассмотрены вопросы акустической и вибрационной диагностики пневмо- и гидросистем и их агрегатов. Дано описание аппаратуры для измерения акустических сигналов и параметров вибрации, методов их обработки. Рассмотрены методы определения различных дефектов, возникающих в процессе эксплуатации.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и пневмогидроавтоматика», может использоваться при изучении курсов «Акустика пневмо- и гидромашин», «Надежность и диагностика гидромашин, гидро- и пневмоприводов».

УДК 62-82:681.518.5

ББК 34.447-08

**ISBN 5-7883-0481-4**

© Кох А.И., Гаспаров М.С.,  
Петренко С.А., 2006

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2006

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВЕДЕНИЕ.....	5
1. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ.....	8
1.1. Общие характеристики и свойства волн.....	11
1.2. Гармоническая волна. Амплитуда и фаза.....	12
1.3. Интерференция волн.....	13
1.4. Стоячие волны. Собственные колебания.....	13
1.5. Дифракция волн.....	14
1.6. Отражение и преломление волн.....	15
1.7. Волны и лучи.....	16
1.8. Волновое уравнение.....	17
2. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	19
2.1. Характеристики случайных процессов.....	20
2.2. Спектральный и корреляционный анализ виброакустических процессов.....	25
3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕГИСТРАЦИИ И ОБРАБОТКИ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВИБРАЦИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПНЕВМО- И ГИДРОСИСТЕМ.....	27
3.1. Уровни звукового давления.....	27
3.2. Измерение звука.....	28
3.3. Измерение параметров вибрации.....	35
4. ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ ПО РОТОРНОЙ ВИБРАЦИИ.....	45
5. ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ.....	47
5.1. Возбуждение колебаний в зубчатых передачах.....	47
5.2. Типичные повреждения рабочих поверхностей зубчатых зацеплений.....	50
5.3. Диагностирование абразивного изнашивания.....	52
5.4. Диагностирование выкрашивания зубьев.....	54
5.5. Диагностирование трещин и поломки зубьев.....	55
6. ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ АГРЕГАТОВ.....	57
6.1. Дефекты подшипниковых узлов.....	57
6.2. Спектр частот, возбуждаемых подшипниками качения.....	58
6.3. Методы диагностирования подшипников качения.....	61
6.4. Диагностирование состояния подшипников скольжения.....	66

7. ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КАВИТАЦИИ.....	69
8. АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА УТЕЧЕК РАБОЧЕЙ СРЕДЫ В ПНЕВМО - И ГИДРОСИСТЕМАХ.....	70
9. АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПНЕВМО – И ГИДРОСИСТЕМ.....	72
9.1. Физическая природа акустической эмиссии.....	73
9.2. Характеристики сигналов акустической эмиссии.....	74
9.3. Аппаратура для измерения акустической эмиссии.....	76
9.4. Применение методов акустической эмиссии.....	77
10. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ.....	80
Приложение «А». Технические характеристики измерительной и анализирующей аппаратуры.....	82
Список литературы.....	83

## ВВЕДЕНИЕ

Акустика (от греч. *akustikos* - слуховой, слушающий), одна из древних областей знания, зародившаяся из потребности дать объяснение явлениям слуха и речи, музыкальным звукам и инструментам. В узком смысле слова - это учение об упругих колебаниях и волнах в газах, жидкостях и твёрдых телах, слышимых человеческим ухом с частотой колебаний в диапазоне 16 Гц – 20 кГц.

В широком смысле в настоящее время это область физики, исследующая упругие колебания и волны от самых низких (условно от 0 Гц) до предельно высоких частот  $10^{12} - 10^{13}$  Гц, их взаимодействие с веществом и применение этих колебаний и волн в различных областях знаний, в том числе в технических науках [1]. Современную акустику подразделяют на общую, прикладную и психофизиологическую.

*Общая акустика* занимается теоретическим и экспериментальным изучением закономерностей излучения, распространения и приёма упругих колебаний и волн в различных средах и системах. Условно её можно разделить на теорию звука, физическую акустику и нелинейную акустику. Теория звука пользуется общими методами, разработанными в теории колебаний и волн. Для колебаний и волн малой амплитуды принимается принцип независимости колебаний и волн (принцип суперпозиции), на основе которого определяют звуковое поле в разных областях пространства и его изменение во времени.

На распространение, генерацию и приём упругих волн оказывает влияние огромное число факторов, связанных со свойствами и состоянием среды. Рассмотрением этого занимается *физическая акустика*. К задачам физической акустики относятся вопросы изучения зависимости скорости и поглощения упругих волн от температуры и вязкости среды и других факторов, вопросы взаимодействия элементарных звуковых волн (фононов) с электронами и фото-



Учебное издание

*Кох Андрей Иосифович  
Гаспаров Маркар Сергеевич  
Петренко Станислав Александрович*

**АКУСТИЧЕСКАЯ И ВИБРАЦИОННАЯ  
ДИАГНОСТИКА ПНЕВМО - И ГИДРОСИСТЕМ**

Учебное пособие

Редакторская обработка Н. С. Куприянова  
Корректорская обработка А. А. Нечитайло  
Доверстка Т. Е. Половнева

Подписано в печать 27.12.06. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 4,8. Усл. кр.- отт. 5,1. Печ. л. 5,25.

Тираж 50 экз. Заказ 170 . ИП-24/2006

Самарский государственный  
аэрокосмический университет  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Издательство Самарского государственного  
аэрокосмического университета  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.