

**Б.Л. Герике
П.Б. Герике
Г.И. Козовой
В.С. Квагинидзе
А.А. Хорешок**

ДИАГНОСТИКА

горных машин и оборудования

**Б.Л. Герике
П.Б. Герике
Г.И. Козовой
В.С. Квагинидзе
А.А. Хорешок**

ДИАГНОСТИКА ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по образованию в области горного дела
в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся
по специальности «Горные машины и оборудование»
направления подготовки «Технологические машины
и оборудование» и по направлению подготовки (специальности)
«Горное дело» (специализация «Горные машины
и оборудование»)

**Москва
ИПО «У Никитских ворот»
2012**

УДК 622
ББК 33.1
Г37

Рецензенты:

- *Шаклеин С.В., доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Средства механизации отработки угольных пластов» Института угля Сибирского отделения РАН*
- *Замышляев В.Ф., кандидат технических наук, профессор кафедры «Горные машины и оборудование» Московского государственного горного университета*

**Б.Л. Герике, П.Б. Герике, Г.И. Козовой, В.С. Квагинидзе,
А.А. Хорешок**

Г37 Диагностика горных машин и оборудования. Учебное пособие.
– М.: ИПО «У Никитских ворот», 2012. – 400 с.
ISBN 978-5-91366-528-7

В учебном пособии рассмотрены методы технической диагностики оборудования, используемые при обслуживании горных машин по фактическому техническому состоянию, изложены основы проведения измерений параметров вибрации. Приведены критерии оценок технического состояния объектов диагностирования по параметрам вибрации, изложены методы и приемы построения критериальных оценок состояния. Рассмотрены устройства для сбора и обработки информации о параметрах механических колебаний.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Горные машины и оборудование» направления подготовки «Технологические машины и оборудование» и по направлению подготовки (специальности) «Горное дело» (специализация «Горные машины и оборудование»), а также для инженерно-технических и научных работников, занимающихся проектированием, созданием и эксплуатацией горнодобывающего оборудования.

ISBN 978-5-91366-528-7

УДК 622
ББК 33.1

© Б.Л. Герике, П.Б. Герике, Г.И. Козовой,
В.С. Квагинидзе, А.А. Хорешок, 2012

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	8
Глава 1	
ВОПРОСЫ ДИАГНОСТИКИ МЕХАНИЗМОВ.....	10
1.1. Методы диагностики.....	12
1.2. Методические основы определения остаточного ресурса.....	15
Вопросы для самоподготовки.....	21
Глава 2	
МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ГОРНЫХ МАШИН.....	22
2.1. Визуально-измерительные методы контроля.....	22
2.2. Капиллярный контроль.....	25
2.3. Акустический (ультразвуковой) контроль.....	26
2.4. Радиационный контроль.....	38
2.5. Магнитный контроль.....	48
2.6. Тепловой контроль.....	52
2.7. Акустико-эмиссионный контроль.....	56
2.8. Вибродиагностика.....	65
2.9. Контроль состояния вещества.....	68
Вопросы для самоподготовки.....	74
Глава 3	
ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, ПОЛОЖЕННЫЕ В ОСНОВУ ИЗМЕРЕНИЙ.....	75
Вопросы для самоподготовки.....	92
Глава 4	
СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ КОМПЛЕКТА ВИБРОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ.....	93
4.1. Датчики вибрации.....	93
4.2. Предусилители.....	102
4.3. Вторичные блоки контроля вибрации.....	103
4.4. Переносные виброметры.....	105

4.5. Переносные одноканальные виброанализаторы	106
Вопросы для самоподготовки.	108
Глава 5	
ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ АКУСТИЧЕСКОМ ШУМЕ И ВИБРАЦИИ	109
Вопросы для самоподготовки.	127
Глава 6	
МЕТОДОЛОГИЯ НОРМИРОВАНИЯ ВИБРАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ	128
6.1. Оценка состояния по общему уровню вибрации	130
6.2. Оценка состояния с помощью эталонных спектров	136
6.3. Оценка состояния по значениям параметра в частотных полосах (опорным маскам)	138
6.4. Методология построения спектральных опорных масок	141
Вопросы для самоподготовки.	152
Глава 7	
МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ	153
7.1. Проведение измерений	153
7.2. Периодичность измерений вибрации	156
7.3. Контрольные точки измерений вибрации.	158
7.4. Места установки датчиков	160
7.5. Программное обеспечение вибромониторинга	161
Вопросы для самоподготовки.	167
Глава 8	
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ	168
8.1. Синхронное накопление.	170
8.2. Временной сигнал	171
8.3. Спектр	172
8.4. Кепстр.	173

8.5. Выделение огибающей	175
8.6. Экссесс	177
8.7. Пик-фактор	178
8.8. Вейвлет-анализ	180
8.9. Сравнительный анализ различных методов диагностики	182
Вопросы для самоподготовки	185
Глава 9	
ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УЗЛОВ И МАШИН	186
9.1. Общая последовательность процедур при построении диагностической модели	186
9.2. Прогнозирование изменения технического состояния агрегатов по параметрам механических колебаний	191
Вопросы для самоподготовки	205
Глава 10	
НЕУРАВНОВЕШЕННОСТЬ РОТОРА	206
10.1. Неуравновешенность ротора и дисбаланс механического происхождения	206
10.2. Диагностические признаки неуравновешенности ротора	208
10.3. Тепловая неуравновешенность ротора	219
10.4. Характерные особенности проявления тепловой неуравновешенности ротора	221
10.5. Термическая нестабильность дисбалансов ротора	224
10.6. Разъединение (ослабление посадки) деталей ротора	225
10.7. Задевания	229
Вопросы для самоподготовки	233
Глава 11	
НАРУШЕНИЯ СООСНОСТИ ВАЛОВ (РАСЦЕНТРОВКА)	234
11.1. Причины несоосности	234
11.2. Параллельная несоосность	235

11.3. Угловая несоосность	236
11.4. Влияние температуры на несоосность.	236
11.5. Изгиб вала.	237
Вопросы для самоподготовки.	257
Глава 12	
НАРУШЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ОПОРНОЙ СИСТЕМЫ.	258
12.1. Диагностические признаки нарушений жесткости	260
Вопросы для самоподготовки.	275
Глава 13	
ДЕФЕКТЫ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ	276
13.1. Низкочастотная вибрация подшипников.	277
13.2. Вибрация, связанная с дефектами изготовления, сборки и эксплуатации подшипников скольжения.	288
Вопросы для самоподготовки.	297
Глава 14	
ДЕФЕКТЫ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ.	298
14.1. Источники вибрации в дефектных подшипниках.	301
14.2. Оценка общего состояния подшипников качения	302
14.3. Дискретная локализация повреждений элементов подшипника качения	309
14.4. Влияние нелинейной жесткости подшипников на вибрацию.	314
14.5. Влияние дефектов изготовления и сборки на вибрацию.	314
14.6. Влияние дефектов износа поверхностей качения на вибрацию	315
14.7. Влияние нарушения условий смазки	320
14.8. Спектральный анализ огибающих	322
Вопросы для самоподготовки.	331
Глава 15	
ДЕФЕКТЫ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ	332

15.1. Причины вибрации зубчатых пар	332
15.2. Нормирование уровня вибрации в редукторах	346
15.3. Абразивный износ зубчатого зацепления	347
15.4. Выкрашивание зубьев (питтинг) зубчатых колес	349
15.5. Трещины и излом зубьев зубчатых колес	355
15.6. Заедание зубчатых колес	358
Вопросы для самоподготовки.	365
Глава 16	
НАРУШЕНИЯ ГИДРО- И АЭРОДИНАМИКИ ПОТОКА И ПУЛЬСАЦИЯ ДАВЛЕНИЯ.	366
16.1. Пульсации давления при турбулентности потока и вихреобразовании	366
16.2. Неоднородность потока в проточной части центробежных агрегатов	373
16.3. Неоднородность потока в проточной части агрегатов с осевым потоком	381
16.4. Гидродинамическая неуравновешенность	385
16.5. Кавитация	386
Вопросы для самоподготовки.	390
Список литературы	391

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность эксплуатации машин и механизмов во многом определяется совершенством методов технического обслуживания и ремонта.

Традиционный планово-предупредительный метод обслуживания и ремонта оборудования не обеспечивает поддержание оборудования в исправном состоянии в период эксплуатации.

Использование диагностических методов контроля обеспечивает соответствие между техническим состоянием и объемом работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Основным принципом технического обслуживания и ремонта, основанном на техническом диагностировании, является принцип предупреждения отказов в работе оборудования при условии обеспечения максимально возможной его наработки.

Развитие дефекта в работающей машине с вращающимися частями и в примыкающем к ней оборудовании определяется методами функциональной диагностики. Анализ отечественного и зарубежного опыта контроля технического состояния систем с вращательным движением силовых узлов показывает, что для обнаружения возможных отказов наиболее эффективен (до 77 %) контроль состояния оборудования именно по параметрам механических колебаний. Это обусловлено тем, что пути внешнего проявления скрытых механических дефектов весьма ограничены. Существуют только два показателя, указывающих на эти дефекты, которые на стадии зарождения легко измерить: температура и вибрация. Из этих двух показателей вибрация имеет такие преимущества, как практически мгновенная реакция на изменение технического состояния объекта, а также относительная простота измерения.

Вибрация – явление, обычное для оборудования, содержащего движущиеся части. Она возникает из-за некоторых свойств, которые являются естественным следствием изготовления элементов оборудования и характеристик материалов. При увеличении вибрации эти свойства могут развиться в серьезные дефекты. В свою очередь развитие дефекта в оборудовании приводит к изменению характеристик вибрации. Увеличение вибрации выше определенного уровня может привести к разрушению элементов оборудова-

ния или характеризовать разрушение. Таким образом, вибрация служит как причиной развития дефектов, так и их индикатором.

Суммируя вышесказанное, можно сформулировать первый вопрос, возникающий при контроле технического состояния оборудования по вибропараметрам: какой уровень вибрации опасен? Ответ на этот вопрос весьма непрост. Его сложность видна, если рассмотреть каждое понятие в этом простом, казалось бы, вопросе.

Рассмотрим вопросы, связанные с понятием «опасен». Во-первых: этот уровень «опасен» для чего? Для любого элемента агрегата? Для фундамента? Для присоединенных конструкций? Для обслуживающего персонала? Вряд ли для всех названных видов оборудования и для персонала, обеспечивающих эксплуатацию агрегата, будет опасен один и тот же уровень вибрации.

Во-вторых: что значит «опасен»? – Агрегат выйдет из строя немедленно после достижения этого уровня? Агрегат будет работать, но с повышенной вероятностью отказа? (Тогда в течение какого промежутка времени?) Ухудшатся технические характеристики агрегата? Вряд ли эти случаи соответствуют одинаковым уровням вибрации.

Следующая группа вопросов связана с термином «вибрация».

Во-первых: по какой из величин, характеризующих вибрацию (абсолютная или относительная; виброперемещение, виброскорость или виброускорение), следует оценивать ее опасность?

Во-вторых: какие из параметров, характеризующих эту величину, следует измерять при контроле? Решение этих вопросов для каждой группы контролируемого оборудования не одинаково.

«Уровень» – это что? – максимальное значение из измеренных величин или каким-либо другим образом обработанные данные измерений? Сколько их (этих измерений) должно быть и в каких точках они должны проводиться? Как часто? Каким требованиям должен отвечать измерительный прибор и место измерения?

И только последнее, т.е. первое, понятие поставленного «простого» вопроса содержит в себе только один вопрос – «какой» (количественно)?

В курсе лекций даны ответы на поставленные выше вопросы. Подробно рассмотрены методы и средства виброакустической диагностики машин и механизмов. Особое внимание уделено вопросам анализа вибросигналов и вибродиагностике различных узлов и механизмов горных машин и оборудования: подшипников, валов, зубчатых передач, компрессоров, насосов и электрических машин.

Б.Л. Герике
П.Б. Герике
Г.И. Козовой
В.С. Квагинидзе
А.А. Хорешок

ДИАГНОСТИКА ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности «Горные машины и оборудование» направления подготовки «Технологические машины и оборудование» и по направлению подготовки (специальности) «Горное дело» (специализация «Горные машины и оборудование»)

Верстка – Кузнецов А.А.



Подписано в печать 06.11.2012. Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16.
Гарнитура «Calibri». Усл. печ. 25 л. Тираж 500 экз. Заказ № 2225.

«ИПО «У Никитских ворот». 121069, г. Москва, ул. Большая Никитская, д. 50а/5.
тел.: (495) 690-67-19
www.uniki.ru

Отпечатано ИПО «У Никитских ворот» способом цифровой струйной ролевой печати на базе ф-ла «Чеховский Печатный Двор» ОАО «Первая Образцовая типография»