

УДК 531.3, 532.5, 534.1

Рецензент: академик Нигматулин Р. И.

Ганиев Р. Ф.

Нелинейные резонансы и катастрофы. Надежность, безопасность и бесшумность. — М.: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2013. — 592 с.

Монография посвящена изложению научных основ нелинейных колебательных процессов в механических системах в условиях многократных резонансов, порождающих интенсивные многомерные движения. Представленные результаты показывают, что многомерные резонансные колебания могут создавать опасные ситуации (вплоть до разрушений) для ряда объектов современной техники: в ракетно-космической технике, в авиации, в энергетике, в транспорте, в машинах и гидросооружениях, подверженных вибрациям или сейсмическим воздействиям.

Приведены критерии и рекомендации по обеспечению надежности, безопасности и бесшумности в технике.

Монография рассчитана на научных работников и преподавателей; специалистов, работающих в области создания современной техники.

Ganiev R. F.

Non-linear Resonances & Disasters. Reliability, Safety & Noiselessness. SPC “Regular and Chaotic Dynamics”. Moscow, 2013. 592 p.

The present monograph is devoted to statement of fundamentals of non-linear oscillation processes in mechanical systems on the assumption of multiple resonances generating intensive multidimensional motions. Presented results show that multidimensional resonance oscillations can create dangerous situations (up to destruction) for some objects of up-to-date technology: in space-rocket hardware, in aviation, in power engineering, in transport, in hydraulic works engines subjected by vibrations or seismic forces.

The book presents the criteria and recommendations for guaranteeing of reliability, safety and noiselessness in technics.

The monograph is intended for the scientists, lecturers, specialists working in the field of creation of new technics.

ISBN 978-5-93972-960-4

© Р. Ф. Ганиев, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	11
ВВЕДЕНИЕ. Обоснование проблемы нелинейных многочастотных (многократных) резонансов как первопричины разрушений и шумности машин и сооружений. О рассматриваемых механических моделях и объектах современной техники. Обеспечение надёжности, безопасности и бесшумности.....	14
ГЛАВА I. Постановка проблемы. Нелинейные многочастотные резонансные колебания твердых тел. О природе интенсивных многомерных колебательных взаимодействий, приводящих к разрушениям и шумности машин и сооружений	35
1.1. Уравнения движения и постановка задачи	36
1.2. Линеаризованные уравнения движения твердого тела	48
1.3. Квазилинейные уравнения колебаний твердого тела	57
1.4. Методы исследования нелинейных резонансных колебаний и интегральный признак устойчивости	71
1.5. Пространственная устойчивость движения твердых тел. Определе- ние условий возникновения резонансных многомерных движений.....	79
1.6. Пространственная устойчивость колебаний твердого тела в условиях комбинационных резонансов.....	91
1.7. Периодические режимы многомерных (пространственных) колебаний в области субгармонического резонанса.....	96
1.8. Периодические режимы колебаний свободного твердого тела в случае кратных частот. Взаимодействие поступательных и угловых движений тела. Почти-периодические колебания	103
1.9. Многомерные колебательные движения твердого тела на вибри- рующем основании.....	121
Литература к главе I	137
ГЛАВА II. Резонансные многомерные движения в системах твердых тел, имеющих вращающиеся и колеблющиеся части	140

Нелинейные резонансы и катастрофы

2.1 Уравнения движения. Постановка задачи	141
2.2 Анализ линейных уравнений движения. Области устойчивости и неустойчивости	147
2.3 Построение приближенного решения и исследование устойчивости	150
2.4 Периодические колебания вращающихся твердых тел. Взаимодействие поступательных и угловых движений тела	156
2.5 Почти-периодические колебания вращающихся тел	165
Литература к главе II	169

ГЛАВА III. Экспериментальное исследование нелинейных многомерных колебаний твердых тел.

Основные результаты 171

3.1 Описание экспериментальных механических моделей твердых тел	174
3.2 Возбудительная и измерительная аппаратура. Методика измерения колебаний	180
3.3 Экспериментальное исследование пространственной устойчивости движения твердых тел, т.е. возбуждения многомерных колебаний ...	183
3.4 Экспериментальное исследование нелинейных резонансных режимов пространственных колебаний твердых тел	193
Литература к главе III	205

ГЛАВА IV. Многомерные резонансные колебания спутника относительно центра масс. Механизмы пространственной неустойчивости 207

4.1 Уравнения движения при нелинейных пространственных колебаниях спутника относительно центра масс. Малые пространственные колебания спутника.....	208
4.2 Нелинейные многомерные (пространственные) резонансные колебания спутника относительно центра масс.....	215
4.3 Пространственные формы движений спутника. Сравнение с результатами зарубежных авторов	227
Литература к главе IV	237

ГЛАВА V. Многочастотные автоколебания в управляемых системах. Нелинейные колебания и «земной резонанс» вертолётов..... 239

Оглавление

5.1 Пространственная устойчивость движения управляемого тела	239
5.2 Пространственная неустойчивость движения управляемого спутника	245
5.3 Двухчастотные автоколебания управляемого тела	254
5.4 Автоколебания гибких роторов в условиях двукратного резонанса	263
5.5 Динамика вертолета. Нелинейные многочастотные резонансные колебания вертолета и «земной резонанс»	268
5.6 Нелинейные колебания авиационного двигателя в летательных аппаратах	303
Литература к главе V	308

ГЛАВА VI. Нелинейные колебания тонкостенных цилиндрических оболочек в условиях кратных резонансов. О механизмах нелинейного взаимодействия..... 310

6.1 Нелинейные колебания натуральных цилиндрических оболочек. О нелинейных взаимодействиях форм колебаний в условиях внутренних резонансов.....	313
6.2 Вынужденные колебания несовершенных цилиндрических оболочек при резонансном взаимодействии сопряженных форм колебаний.....	326
6.3 Колебания цилиндрических оболочек в условиях резонансных взаимодействий изгибных форм	328
Литература к главе VI	334

ГЛАВА VII. Экспериментальные исследования нелинейных резонансных колебаний оболочек. Флаттерные процессы .. 336

7.1 Резонансное взаимодействие сопряженных форм колебаний	337
7.2 Резонансное взаимодействие изгибных форм колебаний	344
7.3 Исследование колебаний оболочек с присоединенными массами	347
7.4 Об автоколебаниях и флаттерных явлениях в условиях многократных резонансов	352
Литература к главе VII.....	359

ГЛАВА VIII. Нелинейные многомерные резонансные колебания деформируемых тел, совершающих движение в пространстве. Сканирующие формы движений спутников с деформируемыми элементами..... 362

8.1 Вывод уравнений движения упругого тела	362
--	-----

Нелинейные резонансы и катастрофы

8.2 Уравнения движения одномерного упругого объекта. Нелинейные резонансные соотношения.....	365
8.3 Нелинейные резонансные колебания упругого одномерного объекта	367
8.4 Обобщение на управляемые системы твердых и упругих тел.....	371
Литература к главе VIII	378

ГЛАВА IX. Нелинейные многократные резонансные колебания управляемых твердых и твердых деформируемых тел с жидкостью. Типовые парциальные системы и нелинейные резонансные режимы колебаний. Обеспечение надёжности и безопасности объектов современной техники..... 382

9.1 Нелинейные механизмы многократных резонансных управляемых колебаний твердых тел с жидкостью в поле сил.....	385
9.2 Нелинейно взаимосвязанные колебания несущего тела и колебания поверхности жидкости в поле упругих сил	400
9.3 Многомерные резонансные колебания твердого тела с жидкостью в потенциальном поле упругих сил	405
9.4 Нелинейные многомерные резонансные колебания управляемых упруго-жидкостных систем. Парциальные системы и нелинейные многократные резонансы.....	413
9.5 Анализ основных парциальных систем и резонансных соотношений. Нелинейные механизмы возбуждения многомерных колебаний в условиях многократных резонансов.....	424
Литература к главе IX	441

ГЛАВА X. Приложения. Надежность и безопасность, бесшумность в современной технике (в авиационной, ракетно-космической технике, в трубопроводных системах и гидросооружениях) 444

10.1 Нелинейные многократные резонансные процессы в ракетно-технике. Постановка задачи и перспективы развития.....	445
10.1.1 Нелинейные многократные резонансные механизмы колебаний космических аппаратов (КА) и ракет-носителей (РН).....	447
10.1.2 Поперечные колебания	451
10.1.3 Продольные колебания	454
10.1.4 О перспективах развития динамических проблем в РН и КА в нелинейной многократной резонансной постановке	455

10.2 Динамика самолетов и вертолетов. Проблемы о нелинейных механизмах возбуждения многомерных резонансных колебаний в авиации (самолеты и вертолеты)	460
10.2.1 Нелинейная резонансная динамика самолета.....	460
10.2.2 Динамика и «земной резонанс» вертолетов. Нелинейные многократные резонансные процессы	470
10.3 Стабилизация движений жидкостей в конструкциях и трубопроводах с упругодемпфирующими и проницаемыми поверхностями. Снижение гидродинамического шума и гидравлического сопротивления	477
10.3.1 Стабилизация и дестабилизация течений в каналах, в пограничных слоях и трубопроводах, уменьшение гидродинамического шума и гидравлического сопротивления.....	479
10.3.2 Механизмы стабилизации и дестабилизации плоских течений в каналах и погранслоях с упругими стенками. Ламинаризация и уменьшение гидродинамического шума и гидравлического сопротивления	488
10.3.3 Стабилизация движения жидкости в каналах и погранслоях с проницаемыми стенками	493
10.3.4 Линейная и нелинейная стабилизация движения жидкости в цилиндрических трубах с гибкими покрытиями. Снижение гидродинамического шума и гидравлического сопротивления	502
10.4 Стабилизация и гашение колебаний и волн, гидроударов в гидросистемах машин, энергетических установках, трубопроводах и в объектах современной техники	505
10.4.1 Стабилизация и гашение колебаний и волн в трубопроводах ..	507
10.4.2 Снижение максимального давления при гидроударах	510
10.4.3 Стабилизация акустических колебаний и волн в трубопроводных системах. Резонансные стабилизаторы волновых процессов.....	511
10.4.4 Экспериментальные исследования СВП в трубопроводах в лабораторных и промышленных условиях.....	530
10.4.5 Стабилизация и гашение шума, вибраций и гидроударов в энергетике и в нефтегазовом комплексе.....	534
10.5 Нелинейные многократные резонансные волновые механизмы неустойчивости ГЭС и рекомендации по обеспечению безопасности (на примере СШ ГЭС)	543
10.5.1 Схема и характеристика СШ ГЭС	544
10.5.2 Основные парциальные системы и их собственные частоты ..	548

Нелинейные резонансы и катастрофы

10.5.3 Нелинейные многократные резонансы и автоколебательные процессы.....	551
10.5.4 Многократные нелинейные резонансы в СШ ГЭС и качественная характеристика колебательных процессов	553
10.5.5 Собственные частоты парциальных систем	562
10.5.6 Механизмы гидродинамической неустойчивости	569
10.5.7 Регистрируемые частоты на СШ ГЭС в момент аварии	580
10.5.8 Определение сил, вытолкнувших гидроагрегат после отрыва крышки турбины	582
10.5.9 Технические рекомендации по стабилизации автоколебательных процессов в ГЭС	583
Литература к главе X.....	585