

УДК 621.01(075)
ББК 34.40.я73
К17

Рецензенты:

Н. С. Галдин, д-р техн. наук, профессор,
профессор каф. «Строительная подъёмно-транспортная и нефтегазовая техника»
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»;

В. В. Бохан, канд. техн. наук,
ст. науч. сотрудник АО «ФНПЦ «Прогресс»

Калашников, Б. А. Прикладные методы теории колебаний в расчётах механических систем и конструкций : учеб. пособие / Б. А. Калашников ; Минобрнауки России, Ом. гос. техн. ун-т. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2022. – 1 CD-ROM (10,1 Мб). – Систем. требования: процессор с частотой 1,3 ГГц и выше ; 256 Мб RAM и более ; свободное место на жестком диске 300 Мб и более ; Windows XP и выше ; разрешение экрана 1024×768 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; Adobe Acrobat Reader 5.0 и выше. – Загл. с титул. экрана. – ISBN 978-5-8149-3570-0.

Рассмотрены методы расчёта характеристик и параметров движения механических систем и конструкций как основа для анализа их динамической прочности по методу конечных элементов. Изложена теория колебаний автономных консервативных и диссипативных систем с одной степенью свободы. Передаточные функции и частотные характеристики получены с использованием собственного времени системы и безразмерной частоты возбуждения. Движение неавтономных систем с конечным числом степеней свободы описано методом разложения его по формам главных колебаний. Изложение сопровождается большим числом примеров. Часть материала вынесена в упражнения. Выкладки, примеры, задачи и упражнения сопровождаются текстами *Maple*-программ.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению бакалавриата 24.03.01 «Ракетные комплексы и космонавтика» и специальностям 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов», 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей».

Редактор *Т. А. Москвитина*

Компьютерная верстка *О. Г. Белименко*

*Для дизайна этикетки использованы материалы
из открытых интернет-источников*

Сводный темплан 2022 г.
Подписано к использованию 30.11.22.
Объем 10,1 Мб.

© ОмГТУ, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	6
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	7
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	10
1.1. Общие представления о колебательных механических системах.....	10
1.2. Ограничение числа степеней свободы реальных систем при составлении их динамических моделей.....	19
2. ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	25
2.1. Обобщенные позиционные силы	27
2.2. Обобщенные силы неупругого сопротивления	36
2.3. Зависимость сил неупругого сопротивления от относительного перемещения	38
3. СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ КОНСЕРВАТИВНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ	42
3.1. Жёсткость системы.....	42
3.2. Коэффициент инерции системы.....	52
3.3. Дифференциальное уравнение движения системы и его решение	60
4. СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ДИССИПАТИВНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ	71
4.1. Уравнение движения	71
4.2. Периодическое решение уравнения движения диссипативной системы	73
4.3. Аперiodическое решение уравнения движения диссипативной системы	78
4.4. Уравнения движения диссипативной системы в канонических переменных.....	80
4.5. Уравнение периодического движения системы в канонических переменных и его решение	84
4.6. Уравнение аперiodического движения системы в канонических переменных и его решение	89
4.7. Постоянные времени линейных диссипативных систем	93

5. ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ	96
5.1. Уравнение движения системы без трения при её силовом и кинематическом возбуждении	96
5.2. Частотные характеристики системы без трения при её силовом возбуждении	99
5.3. Частотные характеристики системы с вязким трением при её кинематическом возбуждении.....	105
6. СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ КОНСЕРВАТИВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С КОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ.....	113
6.1. Потенциальная энергия системы.....	113
6.2. Кинетическая энергия системы	120
6.3. Уравнения движения системы.....	123
6.4. Спектр частот главных колебаний	130
6.5. Общее решение системы уравнений движения	132
6.6. Формы главных колебаний	134
6.7. Ортогональность форм главных колебаний	145
6.8. Нормальные координаты системы.....	151
6.9. Спектр собственных колебаний систем с большим числом степеней свободы.....	167
7. ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ КОНСЕРВАТИВНЫХ СИСТЕМ С КОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ.....	180
7.1. Методы расчета вынужденного движения	180
7.2. Метод разложения движения по формам главных колебаний.....	181
7.2.1. Вынужденные колебания системы с двумя степенями свободы при силовом возбуждении	185
7.2.2. Вынужденные колебания системы с двумя степенями свободы при кинематическом возбуждении	191
БЛОК ЗАДАЧ 1. ЛИНЕАРИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТИПА ДУФФИНГА ПРИ РАЗЛИЧНОМ ВЫБОРЕ ОБОБЩЁННЫХ КООРДИНАТ.....	201

БЛОК ЗАДАЧ 2. ЛИНЕАРИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТИПА ДУФФИНГА С КРИВОЛИНЕЙНОЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ВЫБОРЕ ОБОБЩЁННЫХ КООРДИНАТ	210
БЛОК ЗАДАЧ 3. ВЛИЯНИЕ ТИПА СОЕДИНЕНИЯ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ НА ЕЁ ЭКВИВАЛЕНТНУЮ ЖЁСТКОСТЬ	213
БЛОК ЗАДАЧ 4. КОЭФФИЦИЕНТ ИНЕРЦИИ СИСТЕМЫ.....	219
БЛОК ЗАДАЧ 5. ПАРАМЕТРЫ И ГРАФИКИ КОЛЕБАНИЙ ЛИНЕЙНЫХ КОНСЕРВАТИВНЫХ СИСТЕМ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ	224
БЛОК ЗАДАЧ 6. ПАРАМЕТРЫ И ГРАФИКИ КОЛЕБАНИЙ ЛИНЕЙНЫХ ДИССИПАТИВНЫХ СИСТЕМ С ОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ СВОБОДЫ	229
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	235
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	236