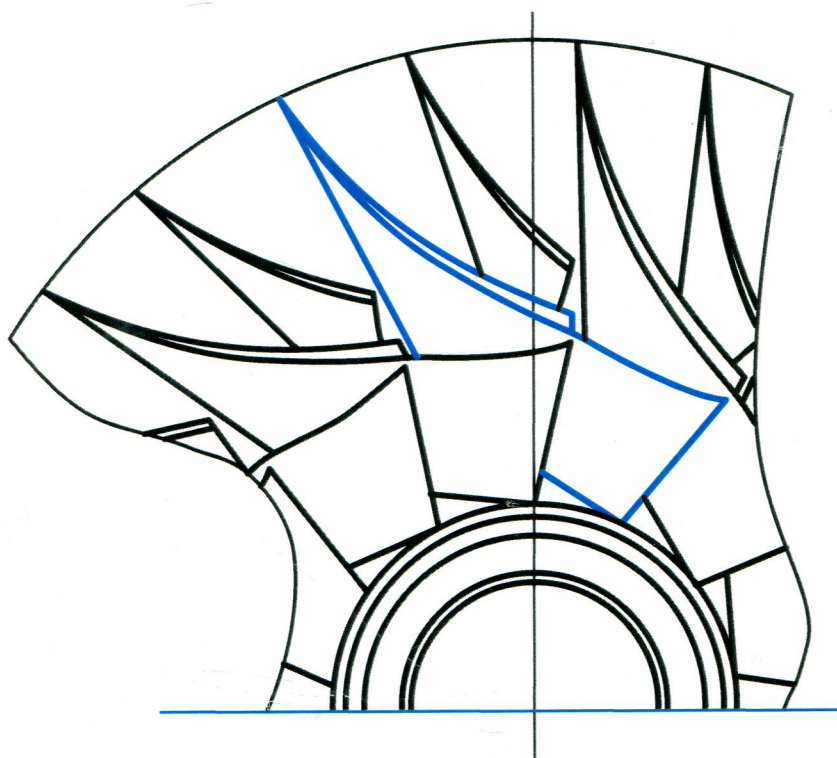


С. С. Гаврюшин, О. О. Барышникова, О. Ф. Борискин

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН И ПРИБОРОВ



С. С. Гаврюшин, О. О. Барышникова,
О. Ф. Борискин

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН И ПРИБОРОВ

2-е издание, исправленное

 **ИЗДАТЕЛЬСТВО**
МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

Москва
2014

УДК 539.3:534.1

ББК 34.41

Г12

Рецензент:

д-р техн. наук, проф. *В. В. Кашелкин*

Гаврюшин С. С.

Г12 Численный анализ элементов конструкций машин и приборов / С. С. Гаврюшин, О. О. Барышникова, О. Ф. Борискин. — 2-е изд., испр. — М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 479, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3979-9

Изложены основные этапы расчетов на ЭВМ напряженного и деформированного состояний сложных стержневых, оболочечных и трехмерных конструктивных элементов в геометрически и физически нелинейной постановке. Особое внимание уделено разработке новой методики расчета и проектирования, позволяющей за счет использования оптимальных смешанных аппроксимаций перемещений проводить численное исследование процессов нелинейного деформирования гибких трубчатых манометрических элементов, анализировать влияние различных параметров на процесс деформирования, учитывать особенности нелинейного процесса деформирования. Приведены и проанализированы результаты расчетов тестовых примеров и реальных механических систем. Значительное внимание уделено практическому применению разработанных алгоритмов, программ и методик.

Для научных сотрудников, инженеров и аспирантов, связанных с исследованием, проектированием, изготовлением и эксплуатацией сложных механических систем. Книга может быть полезна студентам старших курсов технических вузов.

УДК 539.3:534.1

ББК 34.41

© Гаврюшин С.С., Барышникова О.О., 2012

© Гаврюшин С.С., Барышникова О.О., 2014,
с изменениями

© Оформление. Издательство

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014

ISBN 978-5-7038-3979-9

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Глава 1. Анализ развития автоматизированных конечно-элементных систем для расчета динамики и прочности машиностроительных конструкций	16
Глава 2. Колебания и напряженно-деформированное состояние оболочечных конструкций	28
2.1. Конечный элемент для расчета оболочек	28
2.2. Колебания оболочечных конструкций	34
2.3. Прочность оболочек переменной толщины	51
2.4. Квазиплоские конечные элементы	64
Глава 3. Колебания и напряженно-деформированное состояние трехмерных тел	71
3.1. Линейные, квадратичные и смешанные трехмерные конечные элементы	71
3.2. Собственные частоты и формы колебаний трехмерных тел	89
3.3. Анализ сложного напряженно-деформированного состояния деталей машин	103
Глава 4. Геометрическая и физическая нелинейности механических систем	112
4.1. Методы решения нелинейных задач	112
4.2. Геометрическая нелинейность, вызванная действием центробежных сил	114
4.3. Учет физической нелинейности в расчетах динамики и прочности машин	123
Глава 5. Суперэлементная расчетная схема сложных механических систем	149
5.1. Расчет оболочечных и трехмерных конструкций с помощью алгоритма статической конденсации	149
5.2. Суперэлементные расчеты собственных частот и форм колебаний конструкций	154
5.3. Суперэлементные расчеты конструкций на прочность	160
5.4. Колебания пакетов рабочих лопаток с разрезными бандажными связями	162
Глава 6. Метод модальных матриц в динамике сложных механических систем	184
Глава 7. Суперэлементная методика исследования циклически симметричных систем	196
7.1. Математическая модель сложной механической системы с циклической симметрией	196
7.2. Колебания циклически симметричных систем	206
7.3. Напряженно-деформированное состояние циклически симметричных систем	223

Глава 8. Основные соотношения, используемые для описания процессов нелинейного деформирования гибких тонкостенных конструкций	228
8.1. Обзор литературы, посвященной расчету и проектированию упругих манометрических элементов	228
8.1.1. Подходы к проблеме с позиций нелинейной теории гибких стержней и оболочек	229
8.1.2. Расчеты манометрических пружин: история вопроса и современное состояние	232
8.2. Особенности проектирования и расчета манометрических элементов робототехнических систем	241
8.2.1. Принцип действия и основные виды упругих манометрических элементов	242
8.2.2. Классификация упругих манометрических элементов	247
8.2.3. Особенности расчета и проектирования гибких герметичных элементов	253
8.3. Расчетная схема гибкого стержня	256
8.4. Расчетная схема осесимметричной оболочки, не замкнутой в окружном направлении	263
Глава 9. Алгоритм численного анализа упругих манометрических трубчатых элементов	276
9.1. Исследование процессов нелинейного деформирования методами продолжения решения по параметру	276
9.2. Реализация дискретного продолжения по параметру при исследовании однопараметрических процессов нелинейного деформирования упругих манометрических элементов	279
9.3. Алгоритм метода многосегментной пристрелки	283
9.4. Программная реализация алгоритма численного анализа, описание пакета прикладных программ	286
Глава 10. Численное исследование трубчатых манометрических элементов существующих и перспективных конструкций ...	291
10.1. Проверка достоверности результатов на модельных и тестовых задачах	291
10.2. Оценка эффективности предложенного подхода, сравнение с результатами других авторов	303
10.3. Экспериментальные исследования нелинейного деформирования гибких элементов и проверка достоверности результатов численного исследования	306
10.4. Численный анализ известных конструкций трубчатых манометрических элементов	307
10.5. Анализ и предложения по проектированию	309
10.5.1. Расчет аварийного переключателя	309
10.5.2. Численное исследование процессов нелинейного деформирования манометрических элементов перспективных конструкций для использования в вакууме и сверхчистых средах	313
10.6. Гибкие манометрические трубчатые элементы дискретного действия	321
10.7. Результаты экспериментальных исследований гибкого манометрического элемента дискретного действия	323
10.8. Рекомендации по выбору рациональных параметров при проектировании упругих манометрических элементов	325

Глава 11. Методы трехмерного моделирования гибких упругих элементов	327
11.1. Смешанные аппроксимации и методы трехмерного моделирования гибких упругих элементов	327
11.2. Моделирование трубчатых манометрических пружин в силовых вибромеханизмах	340
11.3. Методика проектирования гибких трубчатых элементов с учетом физической нелинейности	350
Глава 12. Прямое использование уравнений теории упругости в расчетах колебаний в облопаченных многодисковых роторах	363
12.1. Математические модели для исследования колебаний и прочности вращающихся неравномерно нагретых роторов турбомашин	363
12.2. Конечно-элементный алгоритм расчета колебаний лопаток турбомашин	367
12.3. Исследование взаимосвязанных колебаний многосвязанных роторов	368
Глава 13. Разработка больших программных комплексов для термоупругого расчета многослойных аэрокосмических оболочечных конструкций	373
13.1. Анализ напряженного и деформированного состояния пластин и оболочек при максимальном числе узлов конечно-элементной модели	374
13.2. Мероприятия по снижению затрат времени для анализа напряженного и деформированного состояния пластин и оболочек ...	380
13.3. Анализ напряженного и деформированного состояния трехслойной пластины	386
13.4. Анализ напряженного и деформированного состояния пластин и оболочек при неравномерном нагреве	387
13.5. Анализ напряженного и деформированного состояния пластин и оболочек при вращении	388
13.6. Напряженно-деформированное состояние оболочки возвращаемого приборного контейнера	393
13.7. Напряженно-деформированное состояние пенетратора	397
Глава 14. Использование математических методов в моделировании механических процессов в телах с трещинами	408
14.1. Моделирование дефектных состояний колеблющихся лопаток, дисков, валов и рабочих колес турбомашин	408
14.2. Динамика ротора и математическое моделирование поперечной трещины в валу на базе изопараметрических конечных элементов	427
14.3. Трехмерное моделирование дефектов в подъемно-транспортных машинах	440
ЛИТЕРАТУРА	451