

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

ББК 38.844

М 15

УДК 621.396.6.001.57

Редакция литературы по вопросам космической радиоэлектроники

В доступной форме показано как применение метода конечных разностей, удобно для расчета на ЦВМ, облегчает моделирование тепловых и механических процессов в конструкциях радиоаппаратуры. Метод основан на представлении сложных физических процессов, происходящих в больших объемах, простыми процессами, протекающими в малых объемах кубической формы.

Книга адресована в первую очередь радиоконструкторам, занимающимся тепловыми и механическими расчетами, она будет полезна аспирантам и студентам, а также широкому кругу читателей, интересующихся вопросами решения на ЦВМ краевых задач математической физики.

## **Оглавление книги Модели из кубиков**

От автора

### **I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

- 1.1. В элементарном объеме
- 1.2. Гипотеза о свойствах среды
- 1.3. От части к целому
- 1.4. Пример с водой
- 1.5. Ближе к природе
- 1.6. Вперед — к бесконечно Малым
- 1.7. Аппроксимация
- 1.8. Что может высшая математика?
- 1.9. Назад — к конечным разностям
- 1.10. Как решать?
- 1.11. Подводные камни
- 1.12. Устойчивость
- 1.13. Разные разности
- 1.14. Разностная схема
- 1.15. Погрешности округления

### **2. ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУКЦИИ**

- 2.1. Теплопроводность, конвекция, лучеиспускание
- 2.2. Модель-сетка
- 2.3. Закон сохранения тепловой энергии
- 2.4. Формулировка задачи
- 2.5. Включаем питание
- 2.6. Первые выводы
- 2.7. Совершенствование модели
- 2.8. Неоднородные элементы модели
- 2.9. Более сложные границы
- 2.10. Где тонко
- 2.11. От трехмерной сетки к двухмерной

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

2.12. Расчет теплового экрана

## **3. МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАДИОКОНСТРУКЦИИ**

- 3.1. Задача расчета вибрации
  - 3.2. Закон парности или сложное напряженное состояние
  - 3.3. Трудности при построении модели
  - 3.4. Равновесие сил
  - 3.5. Уравнения движения в перемещениях
  - 3.6. Явная схема
  - 3.7. Через границу
  - 3.8. Монолитный блок РЭЛ
  - 3.9. Элементы связей
  - 3.10. Осреднение механических характеристик
  - 3.11. Потеря энергии на внутреннее трение
  - 3.12. Подготовка исходных данных
  - 3.13. Упрощение задачи
  - 3.14. Модели плоских и коробчатых конструкций
  - 3.15. Гипотеза прямых нормалей
  - 3.16. Уравнение изгибных колебаний
  - 3.17. Граничные условия
  - 3.18. Учет инерции вращения
  - 3.19. Модель коробки
  - 3.20. Модель стержневого каркаса
  - 3.21. Модель отдельного стержня
  - 3.22. Уравнения движения перекрестий стержней
  - 3.23. Случай стержней прямоугольного сечения
  - 3.24. Допустимый шаг по времени из условия устойчивости
  - 3.25. Неявные схемы
- Перспективы  
Список литературы

### **От автора**

Многие задачи, которые приходится решать инженеру-конструктору, очень сложны, поскольку рассчитываемые физические процессы всегда протекают в пространстве четырех измерений: трех координат и времени. Расчет сводится к решению системы дифференциальных уравнений в частных производных, называемых уравнениями математической физики. В эти уравнения входят четыре независимые переменные.

Иногда удастся упростить задачу настолько, что в уравнениях остается одна независимая переменная, т. е. задача приводится к одномерной. Полученные таким образом дифференциальные уравнения содержат одну независимую переменную и могут быть в принципе решены точными аналитическими методами. Аналитические решения различных одномерных задач рассматриваются в ряде специальных дисциплин. Например, одномерные задачи расчета прочности решаются в курсе сопротивления материалов, где в качестве независимой переменной фигурирует одна из координат. Задачи расчета электрических процессов решаются в теории цепей. В качестве независимой переменной сохраняется время. А если рассчитывают электрические процессы в линейных цепях и если закон

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

изменения искомым токов и напряжений во времени заранее известен, например он является гармоническим, то в расчете исключают и время и расчетные уравнения становятся алгебраическими. Различные одномерные задачи решаются точно, например, в теоретической механике, теории механизмов и машин.

Приведение задачи к одномерному виду всегда связано с идеализацией. В идеальной задаче приходится пренебрегать рядом второстепенных факторов, влияющих на ход физического процесса. Отсюда возникают погрешности, которые трудно проконтролировать. Чем сложнее конструкция и условия в которых она функционирует, тем труднее разработать одномерную расчетную модель, оставляющую надежду на достаточную достоверность результатов расчета.

В большинстве случаев принципиально невозможно привести задачу к одномерному виду и решить ее точными аналитическими методами. Постановке многомерных задач посвящены более сложные дисциплины, чем упомянутые выше. При решении, например, задач по расчету прочности приходится переходить от сопротивления материалов к общей теории упругости. Постановке многомерных электротехнических задач посвящаются курсы электродинамики. Тепловые процессы рассматриваются в курсах теории килопередачи и т. д. Глубокое изучение этих дисциплин весьма сложно.

Особенно тяжело приходится конструктору радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). В радиоконструкциях тесно сплелись теория упругости и электродинамика, теплопередача и аэродинамика. Если допустить в какой-то области ошибку, то аппаратура работать не будет. А тут еще нужно учитывать сложные внешние воздействия на конструкцию, а также множество мелких деталей, бороться за малые габариты и вес и в довершение всего — нет обобщенного положительного опыта работы радиоконструкторов прошлых поколений и только потому, что весь опыт накапливается какие-нибудь 10—15 лет. Вот и приходится радиоконструктору обращаться к единственному, унаследованному из опыта прошлых поколений приему: «методу проб и ошибок». Построил конструкцию, провел испытания, убедился, что конструкция плохая, построил другую и т. д. Хороший этот метод? Ниже среднего. Недостатки его хорошо известны.

Но, к сожалению, он является пока основным. Методы теоретического расчета механических и тепловых процессов в радиоконструкциях только начинают разрабатываться. На пути их создания встречаются большие трудности, связанные с овладением не только указанными дисциплинами, чтобы грамотно поставить задачу, но и еще несколькими не менее сложными дисциплинами, чтобы эту задачу решить. Преодолеть эти трудности помогают различные приближенные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных.

Среди конструкторов радиоэлектронной аппаратуры все большей популярностью пользуется метод конечных разностей, или метод сеток. Можно было бы его назвать и методом кубиков, поскольку в основе его лежит построение моделей сложных физических процессов, происходящих в больших объемах пространства, из простых элементарных процессов, происходящих в малом объеме обычно кубической формы.

Разностные методы приводят, как правило, к огромным объемам вычислений. Без современных цифровых вычислительных машин здесь обойтись нельзя. Электронные

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

цифровые вычислительные машины (ЭЦВМ) находят все большее применение в практике проектирования радиоаппаратуры. С помощью машин производят компоновку деталей, трассировку проводников, рассчитывают электрические процессы. Метод конечных разностей открывает широкие возможности применения ЭЦВМ для расчетов механических и тепловых процессов в различных конструкциях. Популяризации этого метода среди конструкторов разных специальностей и посвящена эта книга.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, имеющих подготовку в объеме начальных курсов технических вузов. Большую надежду возлагает автор также на здравый смысл и энтузиазм читателя. Материал преподносится на «физическом» уровне строгости, поэтому некоторые положения читателю придется принять на веру или изучить по книгам, в которых дается строгая теория разностных схем, например [2, 4, 8, 9]. Несмотря на популярную форму изложения и забавный характер некоторых рисунков, выполненных автором совместно с аспирантом Г. С. Таньковым, книга ставит своей целью не только ознакомить читателя с методами построения моделей механических и тепловых процессов, но подвести его к решению практических задач.

В процессе работы над рукописью автор постоянно чувствовал поддержку и практическую помощь профессора В. Б. Пестрякова, канд. техн. наук В. А. Ермолаева, канд. техн. наук А. С. Синиченкова и канд. техн. наук Г. А. Дмитриева. Автор выражает им глубокую благодарность за ценные советы и замечания, сделанные при обсуждении рукописи.

[Скачать книгу](#) Маквецов Е. Н. **Модели из кубиков**. Москва, Издательство Советское радио, 1978