

**Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича**
**Кафедра Конструирования и производства
радиоэлектронных средств**

Дисциплина: «САПР радиоэлектронных средств»

ТЕМА №7 САЕ-системы

Лекция №9

ТЕМА: «Общая характеристика САЕ- систем»

**Доцент кафедры, к.п.н.,
Мордовин В.Н.**

2018 г.

СПб ГУТ)))

Цель занятия

- 1. Изучить роль и место САЕ-систем в жизненном цикле продукта.**
- 2. Ознакомиться с использованием метода конечных элементов.**

Литература

- 1. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). — СПб.: Питер, 2004.**
- 2. Малюх В. Н. Введение в современные САПР: Курс лекций. - М.: ДМК Пресс, 2010.**
- 3. Основы конструирования и технологии производства РЭС : учебное пособие / Е. И. Кротова ; – Ярославль : ЯрГУ, 2013.**

Учебные вопросы

- 1. Причины использования САЕ систем при разработке конструкций радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).**
- 2. Роль и место САЕ-систем в ЖЦП.**
- 3. Использование метода конечных элементов.**
 - 3.1. Состав программ анализа с помощью МКЭ.**
 - 3.2. Пример анализа по МКЭ.**

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированное конструирование (computer-aided engineering — **САЕ**) — это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для анализа геометрии CAD, моделирования и изучения поведения продукта для усовершенствования и оптимизации его конструкции.

Средства САЕ могут осуществлять множество различных вариантов анализа. *Программы для кинематических расчетов*, могут определять траектории движения и скорости звеньев в механизмах.

Программы динамического анализа с большими смещениями могут использоваться для определения нагрузок и смещений в сложных составных устройствах типа автомобилей.

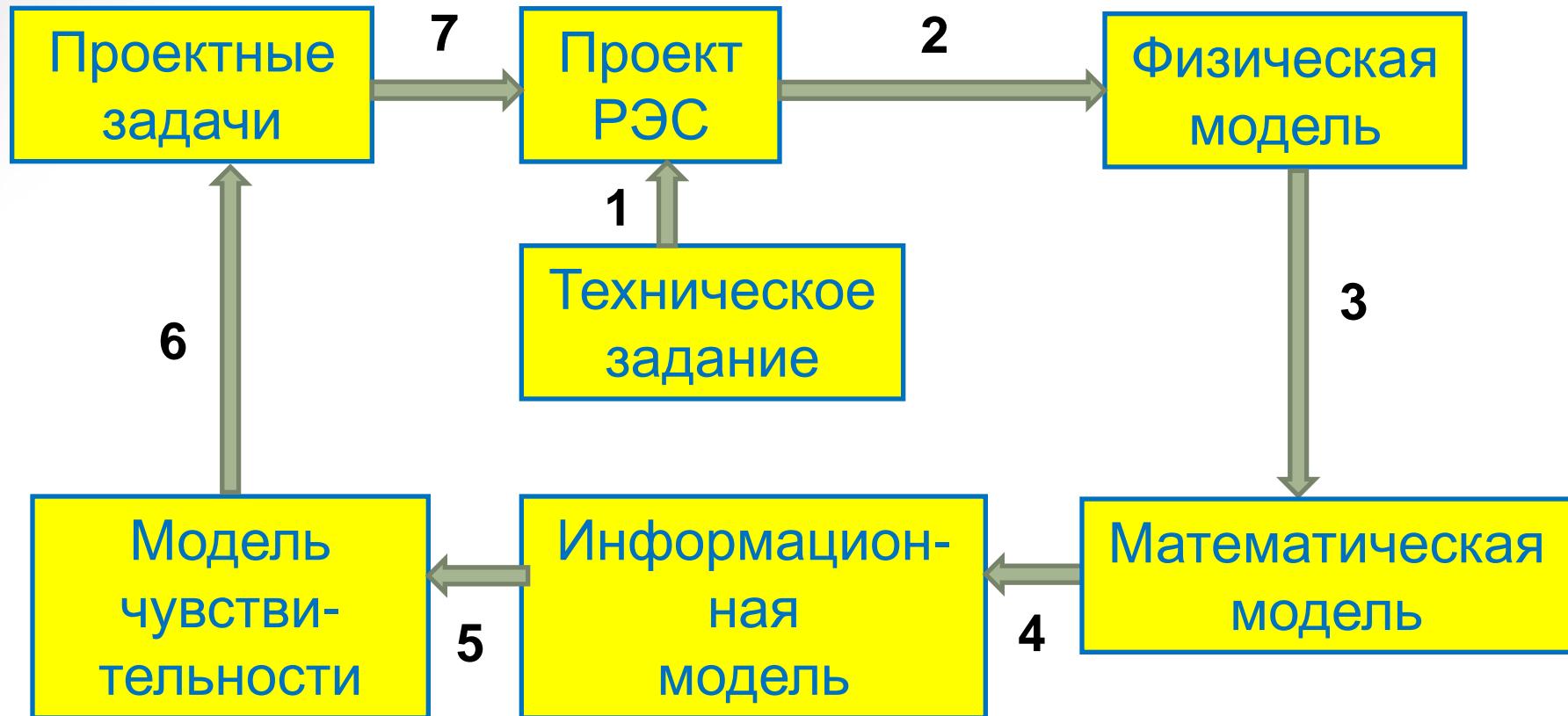
Программы верификации и анализа логики и синхронизации имитируют работу сложных электронных цепей.

1. Причины использования САЕ систем при разработке конструкций РЭА

Основные причины использования САПР при проектировании РЭА:

1. Возможность создания и редактирование графической части, автоматизация выполнения художественных и дизайнерских работ.
2. Возможность проверки разработанной графической модели на соответствие техническим требованиям к конструкции, анализ на прочность, воздействие температуры, анализ электромагнитной совместимости и пр.
3. Автоматизация проектирования текстовой документации, оформление документации в соответствии с ГОСТ и ЕСКД.

Схема процесса автоматизированного проектирования



1-й этап – составление технического задания.

Отражаются основные требования к конструкции:

- значения выходных характеристик и их допустимые разбросы;
- показатели надежности: вероятность безотказной работы, время эксплуатации, срок службы и др.;
- условия эксплуатации: влажность, давление, температура и др.;
- специальные воздействия: вибрация, удары, акустический шум, радиация и др.;
- условия хранения и транспортировки.

2-й этап – разработка проекта РЭС:

- разработка эскиза изделия;
- разработка структурной и функциональной схем РЭА;
- предварительная компоновка и размещение отдельных элементов и узлов в составе изделия.

3-й этап – разработка физической модели схем и конструкции:

- построение двумерной либо трехмерной конструкции разрабатываемого изделия;
- окончательная компоновка и размещение составных частей изделия.

4-й этап – разработка математической модели.

С помощью математической модели создаются основы для расчета выходных характеристик, а также параметров, по которым оценивается фактическое состояние конструкции.

Моделирование содержит несколько шагов:

- задание математических моделей для анализа тепловых процессов, анализа воздействия ударов и вибраций, анализа электромагнитной совместимости и пр.;
- задание параметров этих математических моделей (тип материала, его электрические, механические и прочие характеристики);
- проведение соответствующих расчетов.

5-й этап – разработка информационной модели.

Информационная модель устройства включает в себя:

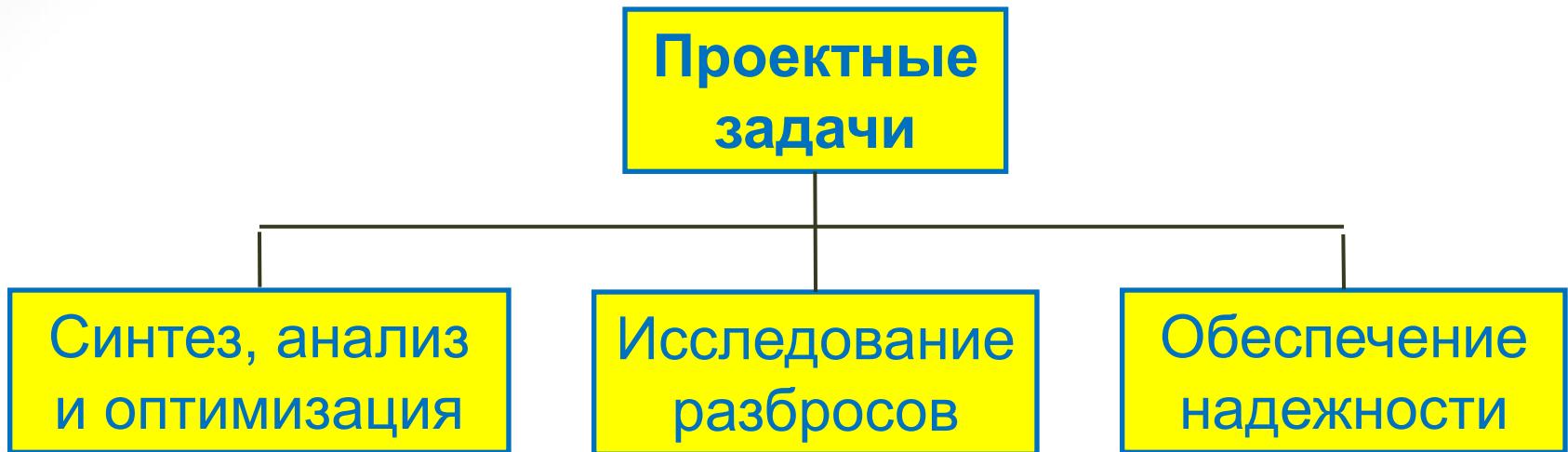
- расчетные значения выходных характеристик;
- требования технического задания;
- информацию из технических условий на элементы схемы и конструкции;
- расчетные значения электрических, тепловых и механических режимов работы элементов;
- показатели определяющие надежность и качество изделия;
- множество внутренних параметров схемы и конструкции, которые могут быть управляемыми.

6-й этап – разработка модели чувствительности.

Путем сопоставления требований ТЗ с расчетными характеристиками, режимов работы элементов с допустимыми режимами, приведенными в технических условиях, выявляются те **характеристики и режимы работы элементов, которые необходимо изменить** и на этой основе строится **модель чувствительности**. В результате расчета модели чувствительности определяются функции, показывающие степень влияния управляемых параметров на выходные характеристики и позволяющие окончательно сформулировать проектные задачи, которые необходимо решить для доработки проекта.

Процесс носит итерационный характер. Исправление недостатков происходит путем повторного выполнения проектных процедур.

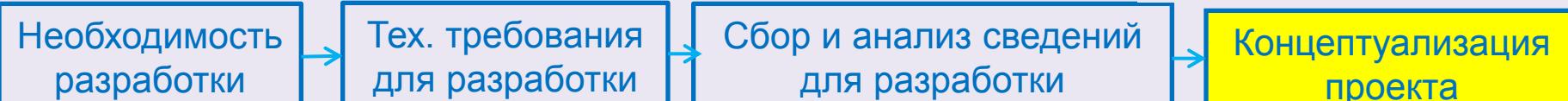
7-й этап – формализация и решение проектных задач.



Структурная схема заключительного этапа автоматизированного проектирования РЭС.

2. Роль и место САЕ-систем в ЖЦП

Процесс разработки



Синтез



Анализ

CAD + CAE

Планирование процесса

CAM

Планирование изготовления

Проектирование и закупка инструмента

Программирование ЧПУ

Заказ материалов

Изготовление

Контроль качества

Упаковка

Маркетинг

Отгрузка

Процесс производства

САЕ системы могут использовать в своей работе следующие математические методы:

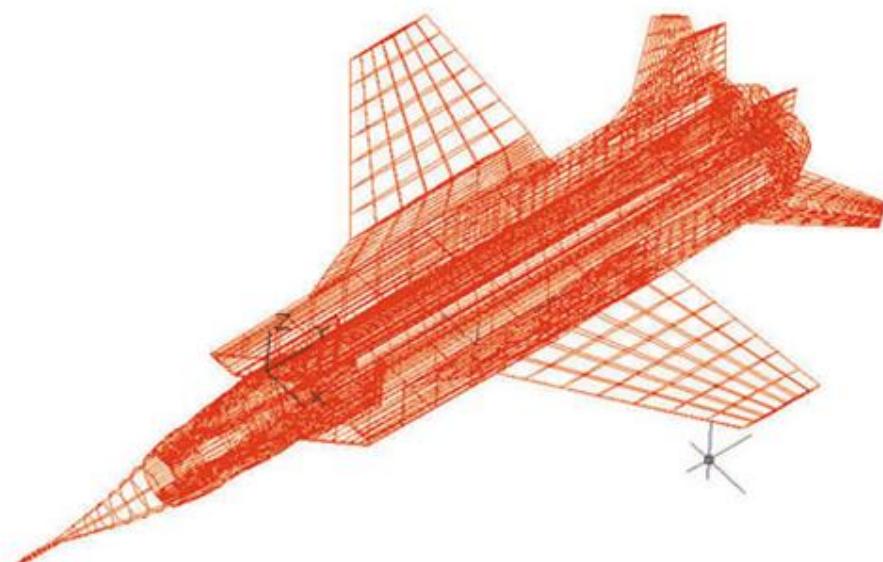
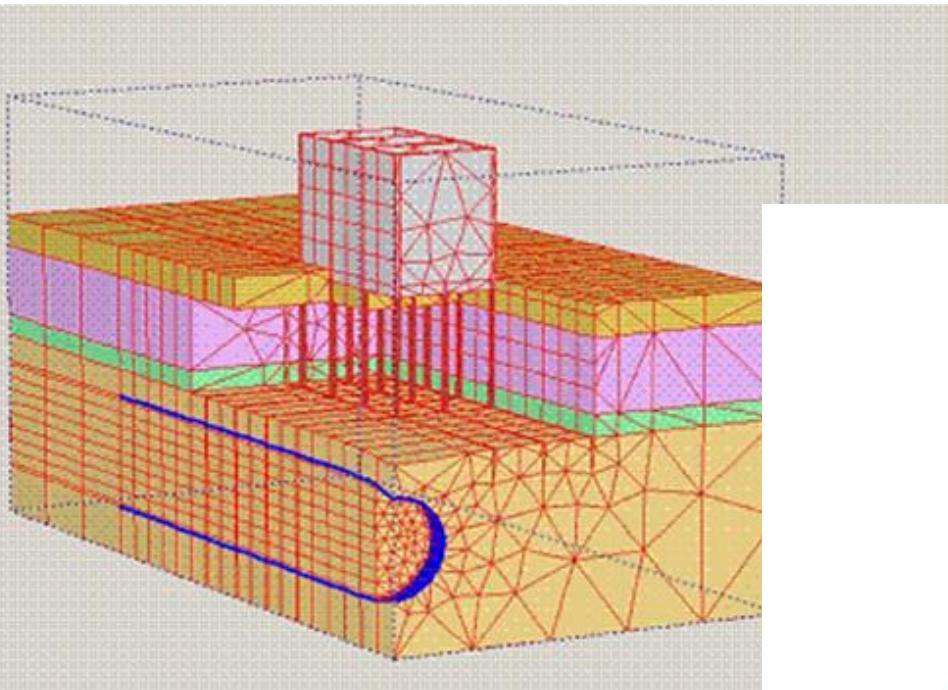
- **Метод конечных элементов** (МКЭ, конечно-элементный анализ, КЭА) - численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики.
- **Метод конечных разностей** - численный метод решения дифференциальных уравнений, основанный на замене производных разностными схемами. Является сеточным методом. Для простых задач построение разностной схемы выполняется быстрее.
- **Метод конечных объемов** (метод контрольных объемов) - численный метод интегрирования систем дифференциальных уравнений в частных производных.

3. Использование МКЭ.

Методы конечных элементов имеют широкую область применения: задачи теплопереноса, распределения электростатического потенциала, механики жидкостей, вибрационного анализа и др.

Главное отличие метода конечных элементов от динамического или кинематического анализа заключается в том, что в первом область задачи рассматривается как непрерывное пространство (континуум), а во втором — как набор дискретных (сосредоточенных) элементов.

Примеры отображения моделируемых объектов с использованием метода конечных элементов



3.1. Состав программ анализа с помощью МКЭ

Основными частями программ анализа с помощью МКЭ являются **библиотеки конечных элементов, препроцессор, решатель и постпроцессор**.

Библиотеки конечных элементов (КЭ) содержат различные модели КЭ для разных задач, форм КЭ, наборов координатных функций.

Исходные данные для препроцессора — геометрическая модель объекта, чаще всего получаемая из подсистемы конструирования (CAD). Основная функция препроцессора — представление исследуемой среды в сеточном виде (множества КЭ).

Решатель — программа, которая ассемблирует (собирает) модели отдельных КЭ в общую систему алгебраических уравнений и решает эту систему одним из методов разреженных матриц.

Постпроцессор служит для визуализации результатов решения в удобной для пользователя форме. Может видеть исходную и деформированную формы детали, поля напряжений, температур, потенциалов и т.п. в виде цветных изображений.

Конечные элементы разных размерностей

Элементы типа балки и фермы



2 узла (линейный)



3 узла (квадратичный)



4 узла
(кубический)

а

Треугольные элементы



3 узла
(линейный)

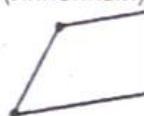


6 узлов (квадратичный)



10 узлов (кубический)

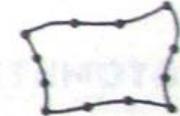
Квадратные элементы



4 узла (линейный)



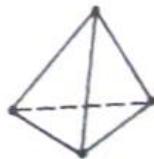
8 узлов
(квадратичный)



12 узлов (кубический)

б

Тетраэдальные элементы



4 узла (линейный)



10 узлов
(квадратичный)



20 узлов (кубический)

Призматические элементы



7 узлов (линейный)

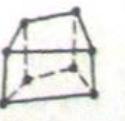


16 узлов
(квадратичный)



29 узлов (кубический)

Гексаэдральные элементы



8 узлов (линейный)



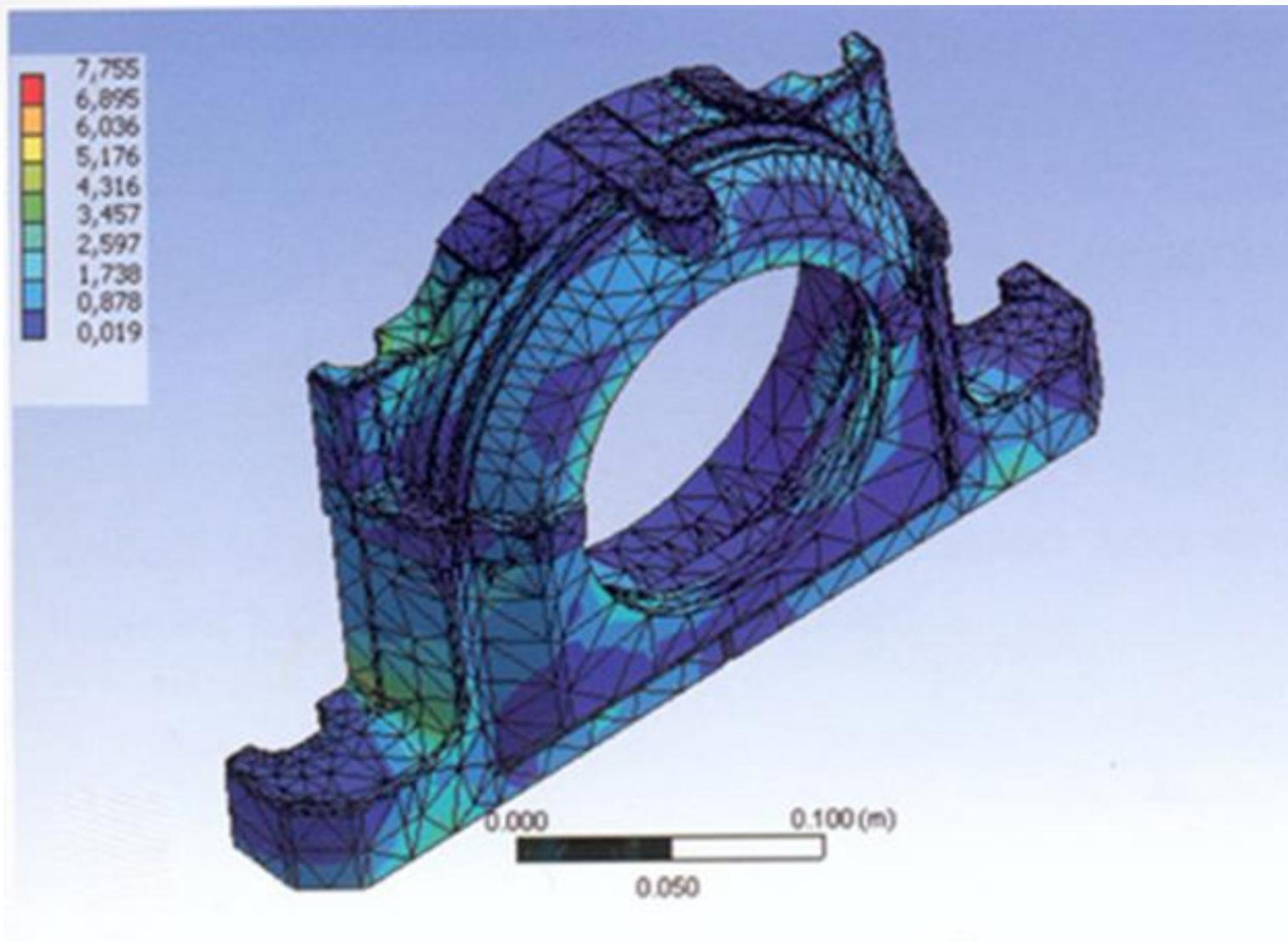
20 узлов
(квадратичный)



32 узла (кубический)

в

Пример изображения с использованием трехмерных сеток конечных элементов



Изопараметрическое отображение

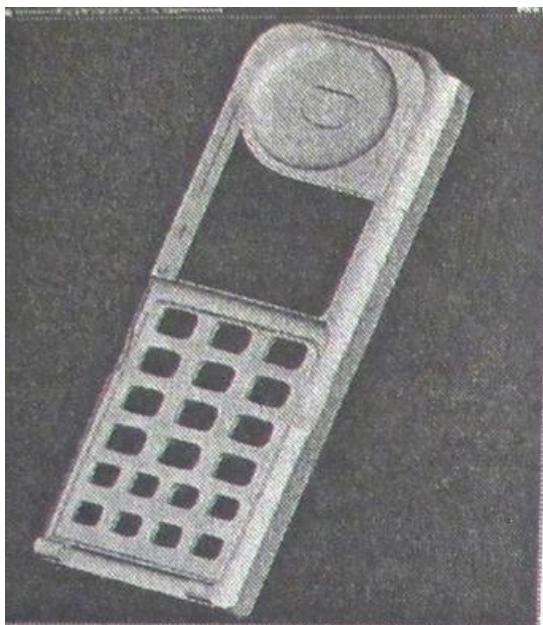


3.2. Пример анализа по МКЭ (Pro/MESH, ANSYS)

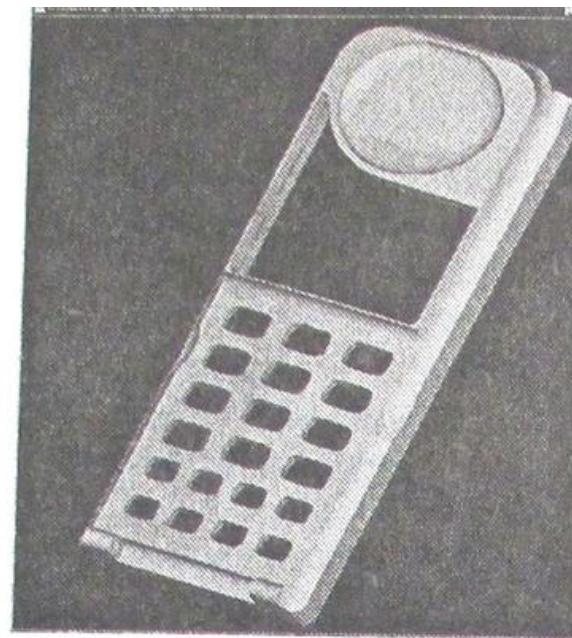


1. Упрощение геометрии детали.

Мелкие детали приводят к формированию большого количества маленьких ячеек, что увеличивает время вычислений. Возможно упростить геометрию детали методом удаления элементов, не существенных для анализа. Далее, детали часто преобразуются к оболочкам, элементы которых являются оболочками, а не объемными телами.



a



б

Геометрия детали:
а – исходная;
б – после
упрощения.

2. Задание материалов.

Перед выполнением анализа необходимо определить свойства материалов.

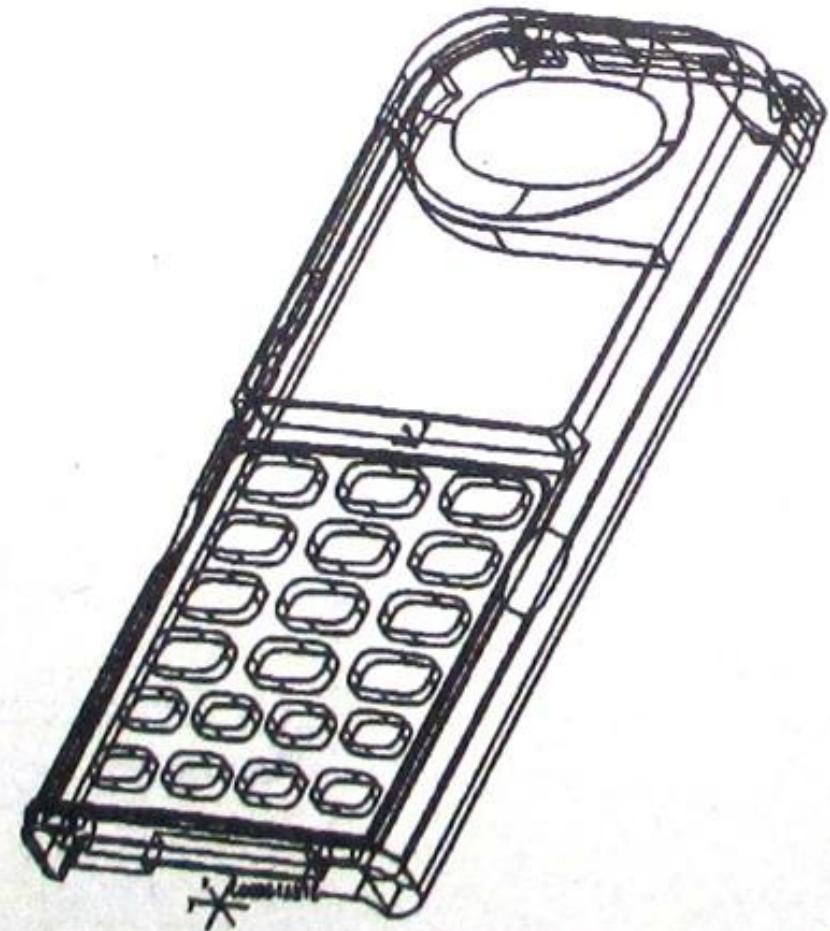
MATERIAL HANDPHONE

This file may be edited using available editor.
Just type on the necessary lines appropriate values
after the "=" sign. Comments are not permitted on
lines containing material properties names.

YOUNG_MODULUS	=	2.000000e-01
POISSON_RATIO	=	4.500000e-01
SHEAR_MODULUS	=	
MASS_DENSITY	=	
THERMAL_EXPANSION_COEFFICIENT	=	
THERM_EXPANSION_REF_TEMPERATURE	=	
STRUCTURAL_DAMPING_COEFFICIENT	=	
STRESS_LIMIT_FOR_TENSION	=	
STRESS_LIMIT_FOR_COMPRESSION	=	
STRESS_LIMIT_FOR_SHEAR	=	
THERMAL_CONDUCTIVITY	=	
EMISSIVITY	=	
SPECIFIC_HEAT	=	
HARDNESS	=	
CONDITION	=	
INITIAL_BEND_Y_FACTOR	=	
BEND_TABLE	=	
PRO_UNIT_MASS	=	
PRO_UNIT_LENGTH	=	

3. Добавление системы координат.

Системы координат используются для задания компонент векторов нагрузок и ограничений. Можно выбрать для этого декартову, цилиндрическую или сферическую систему координат.

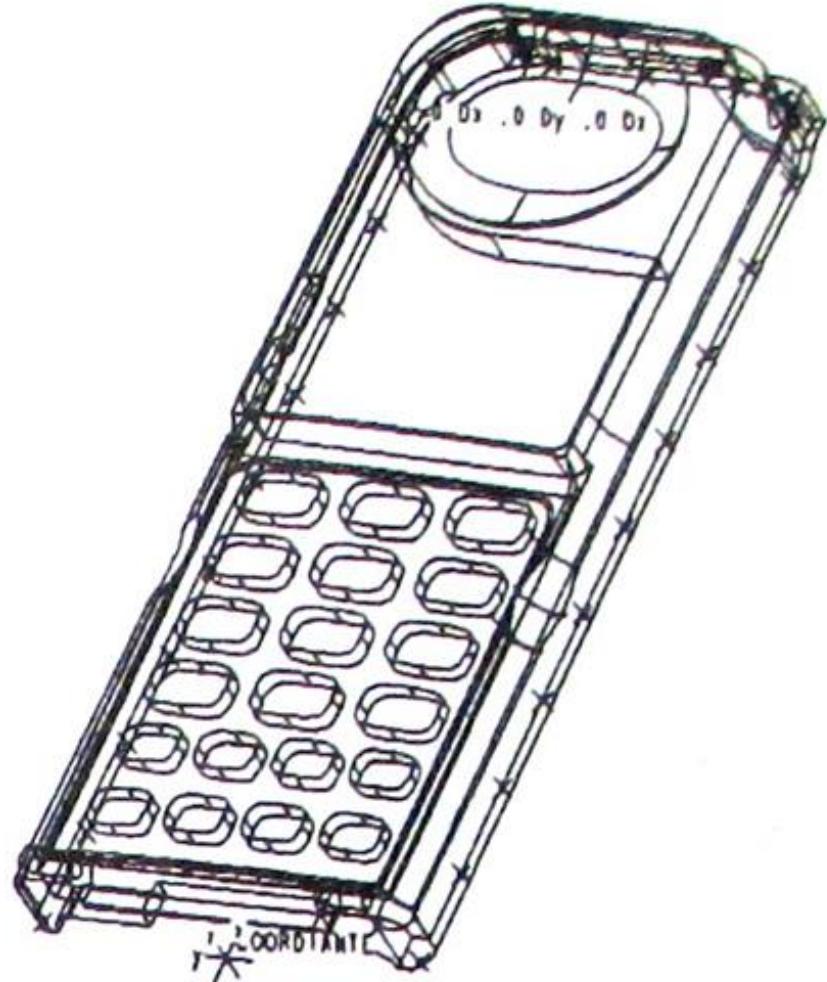


Добавление
системы координат

4. Наложение ограничений.

**Сначала накладываем
ограничения на смещения:**

задняя поверхность должна
иметь нулевые смещения по
всем шести степеням свободы
(вращательным и
трансляционным). Эти
ограничения обозначены
маркерами X на задней панели



Задание граничных
условий

4. Наложение ограничений.

Система позволяет задавать следующие типы ограничений и нагрузок: *давление, силу, момент количества движения, смещение, давление на ребро, температуру, ускорение, угловую скорость и суммарную силу*.



Меню выбора структурных нагрузок и ограничений.

Меню задания ограничений на смещение.



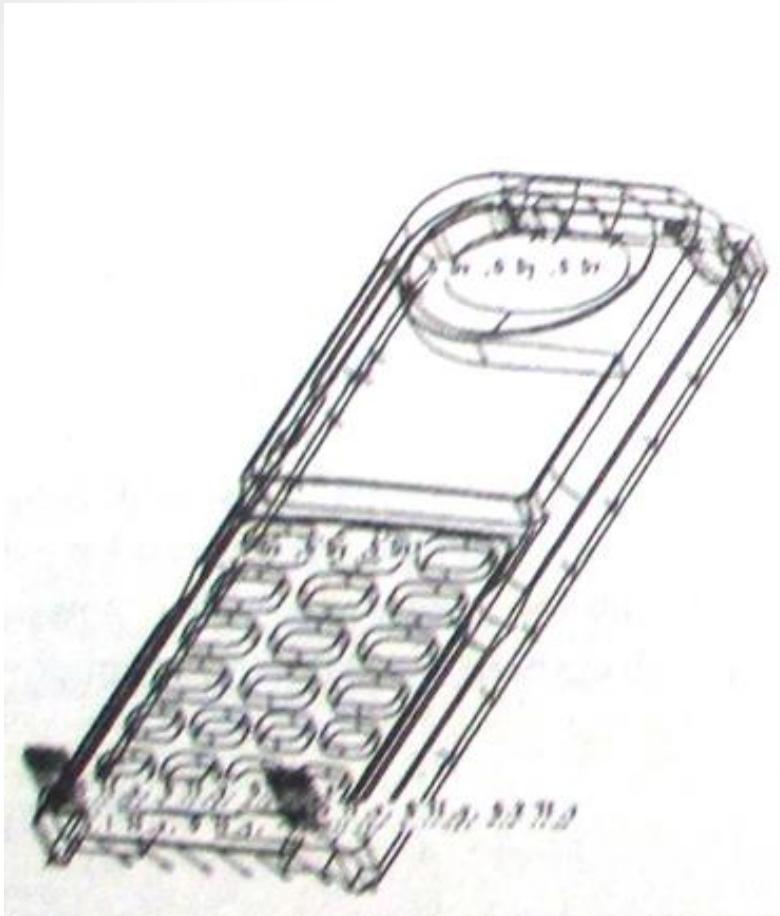
Ограничения на смещение бывают пяти видов:

- **3 components (3 компоненты)** — трансляционное смещение точек, ребер и граней;
- **Immovable (Неподвижный)** — нулевое смещение точки, ребра или грани по трем трансляционным степеням свободы;
- **6 components (6 компонент)** — трансляции и повороты точек, ребер и граней;
- **Fixed (Закрепленный)** — нулевое смещение точки, ребра или грани по всем шести степеням свободы;
- **Along Surf (Вдоль поверхности)** - узлы на выбранной плоскости или цилиндре могут перемещаться только вдоль выбранной поверхности. Узлы на цилиндре могут иметь дополнительное ограничение: перемещаться с изменением только координаты по продольной оси или только азимутального угла.

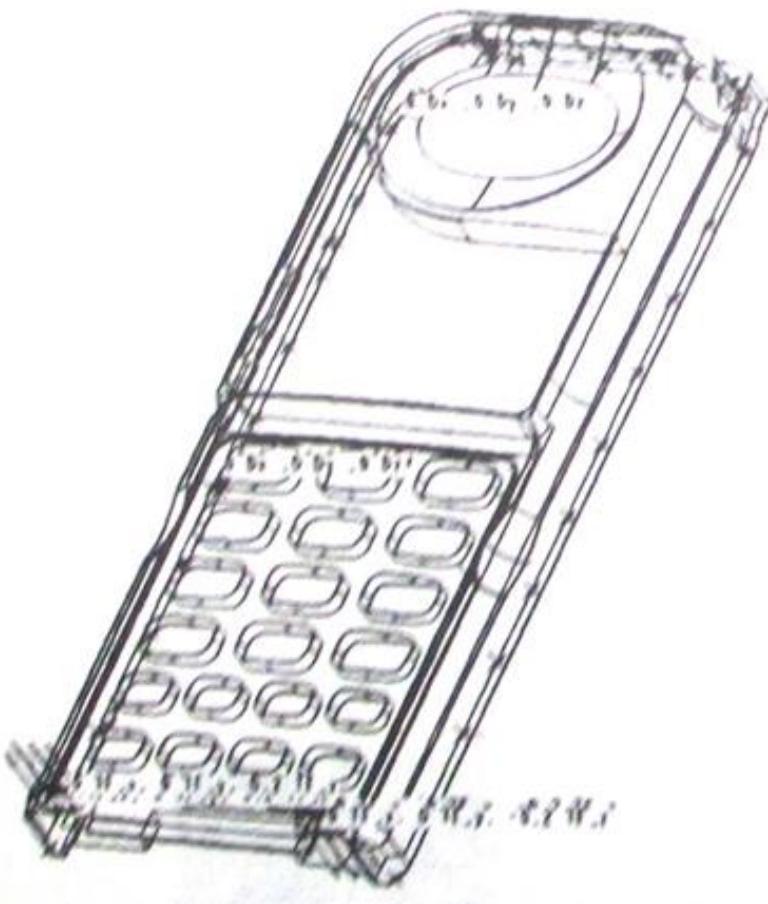
5. Добавление области.

Определяем **область приложения нагрузки**. В нашем примере нагрузка будет прикладываться в том месте где откидная крышка соединяется с корпусом телефона. Эта область является частью лицевой поверхности, поэтому нужно задать часть этой поверхности. Область определяется кривыми, которые строятся непосредственно на поверхности детали.

6, 7. Приложение нагрузок (случай 1 и 2).



Нагрузки и граничные
условия для первой
ситуации.



Нагрузки и граничные
условия для второй
ситуации.

8. Оценка сетки.

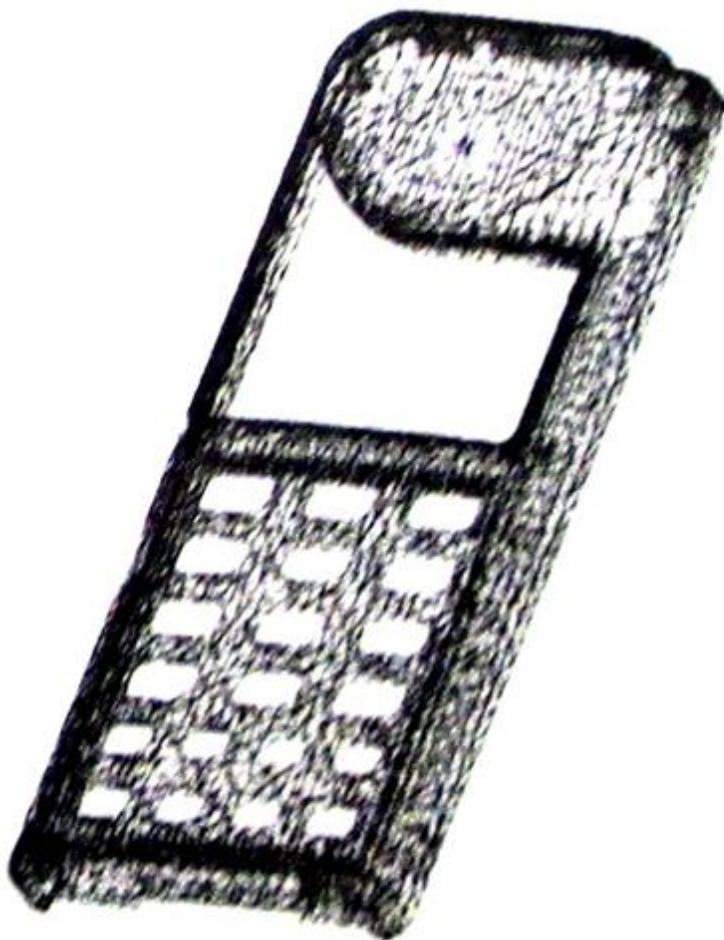


Рис 16. Исходная сетка
построена.

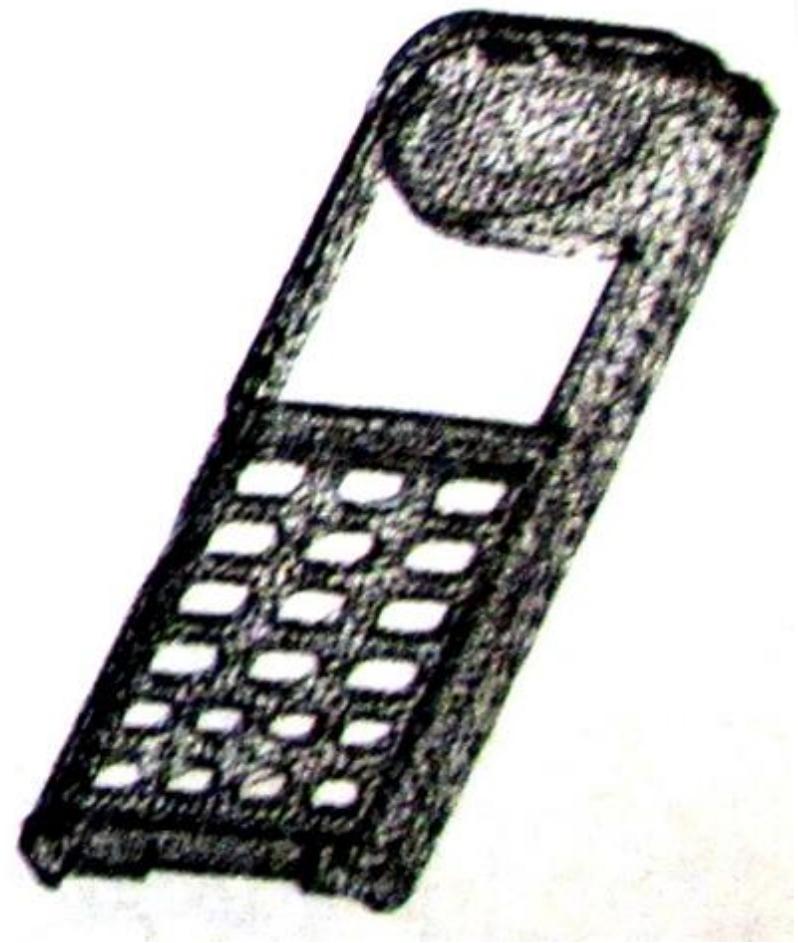


Рис. 17. Новая сетка.

9. Перепостроение сетки.

Количество ячеек на рис. 16 очень велико их около 70 000, что затрудняет анализ и требует слишком больших ресурсов. Нужно уменьшить количество ячеек. Для этого увеличим локальный минимальный размер элемента в тех частях, которые не влияют на качество анализа. Последовательными приближениями уменьшаем количество ячеек до 20 000 (рис. 17).

Рис 16. Исходная сетка
построена.

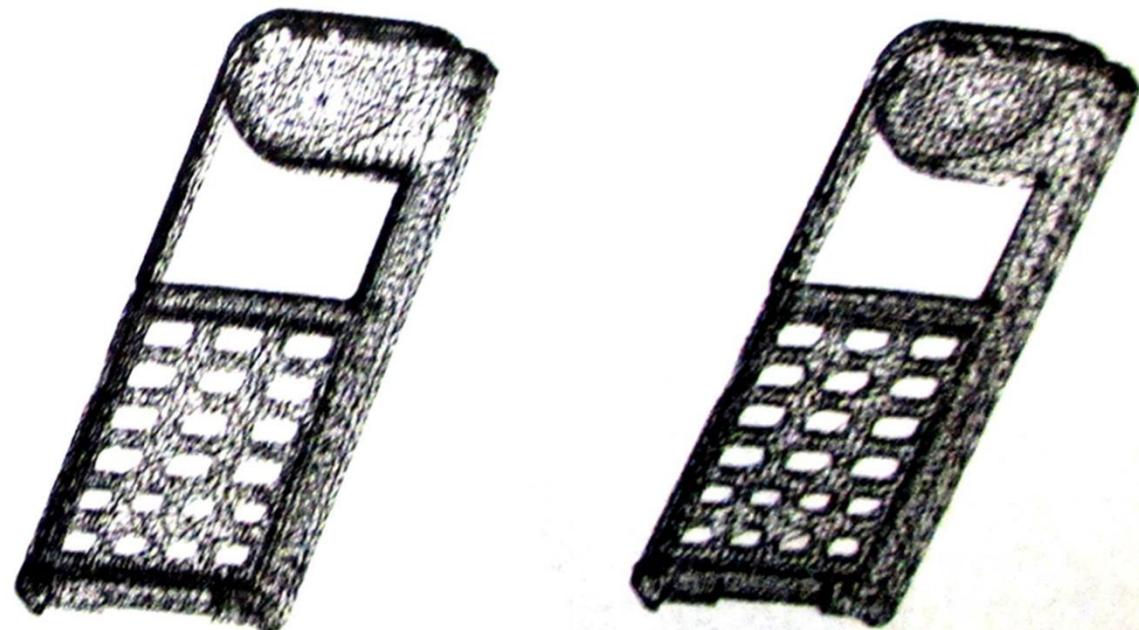


Рис. 17. Новая сетка. СПб ГУТ³¹)

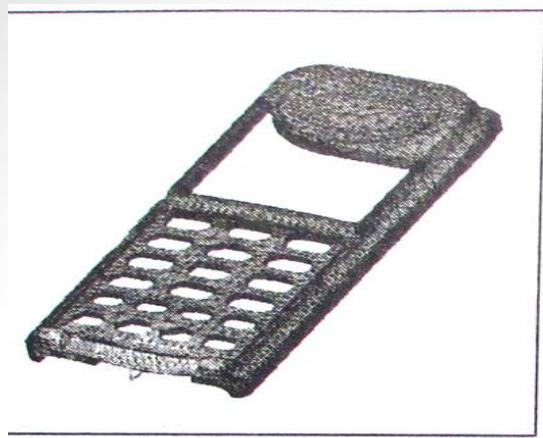
10. Вывод данных системы моделирования.

Если планируется выполнить анализ методом конечных элементов в другой программе, необходимо создать выходной файл с данными о сетке, ***который будет содержать:***

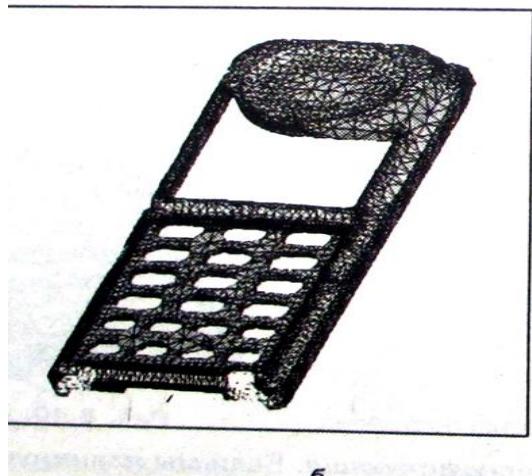
- элементы и узлы сетки в формате, совместимом с конкретной программой анализа;
- все ограничения, наложенные на модель;
- параметры всех использованных материалов.

В примере создали выходной файл для ANSYS.

11. Решение и оценка результатов.



a



b

Рис.18. Результаты анализа: а - распределение напряжений для случая 1; б — для случая 2.

Выходной файл системы моделирования считывается программой ANSYS, после чего выполняется анализ методом конечных элементов. После выполнения анализа можно изучить его результаты - распределения напряжений и смещений (рис. 18). Результаты совпадают с интуитивными предположениями о том, что напряжения будут максимальны в области крепления крышки к корпусу.

Заключение

К преимуществам МКЭ относится возможность работы с телами произвольной геометрии и неоднородными материалами. К недостаткам метода относится большое время решения задач, которое увеличивается при измельчении сетки, усложнении постановки и т.п. В этом вопросе он проигрывает методу конечных разностей.

Достоинство методов анализа и оптимизации конструкций заключается в том, что они позволяют конструктору увидеть поведение конечного продукта и выявить возможные ошибки до создания и тестирования реальных прототипов, избежав определенных затрат.