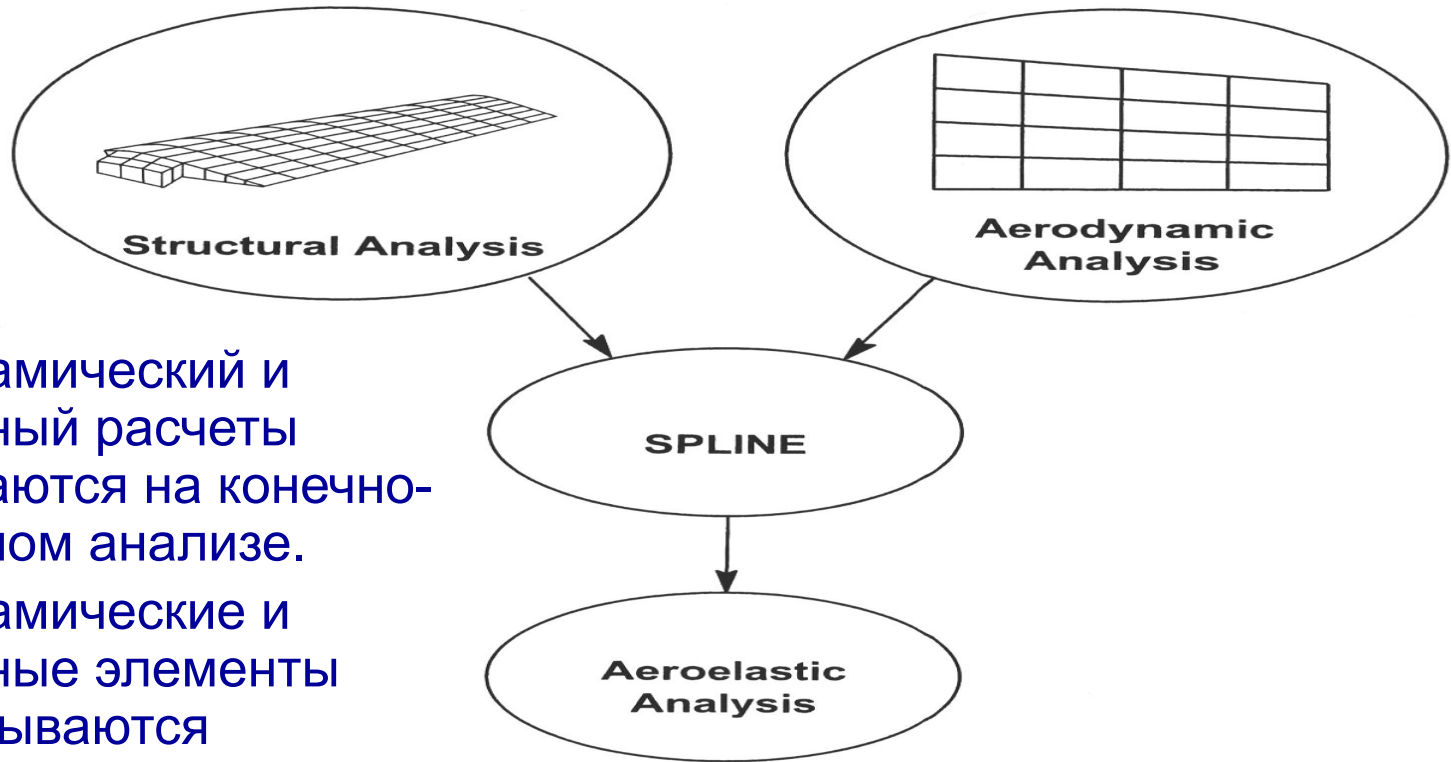


# Раздел 1.1

## Аэроупругость. Обзор.

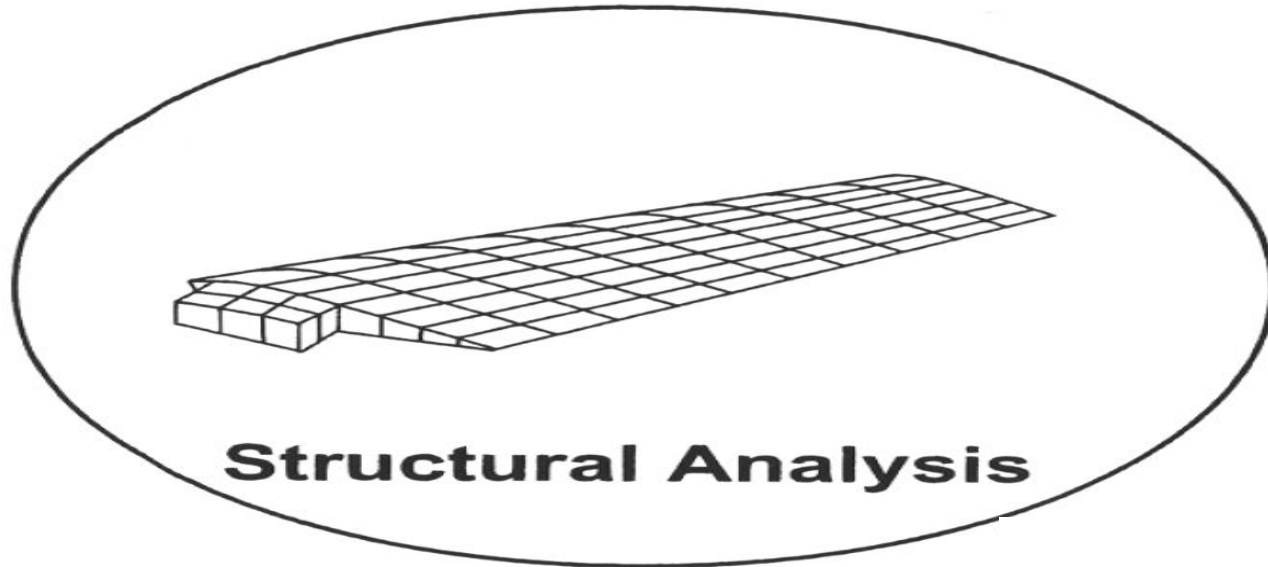


# Расчет аэроупругости



- Аэродинамический и структурный расчеты основываются на конечно-элементном анализе.
- Аэродинамические и структурные элементы разрабатываются независимо.
- СПЛАЙНЫ используются для связи аэродинамической и упругой моделей.

# Расчет аэроупругости

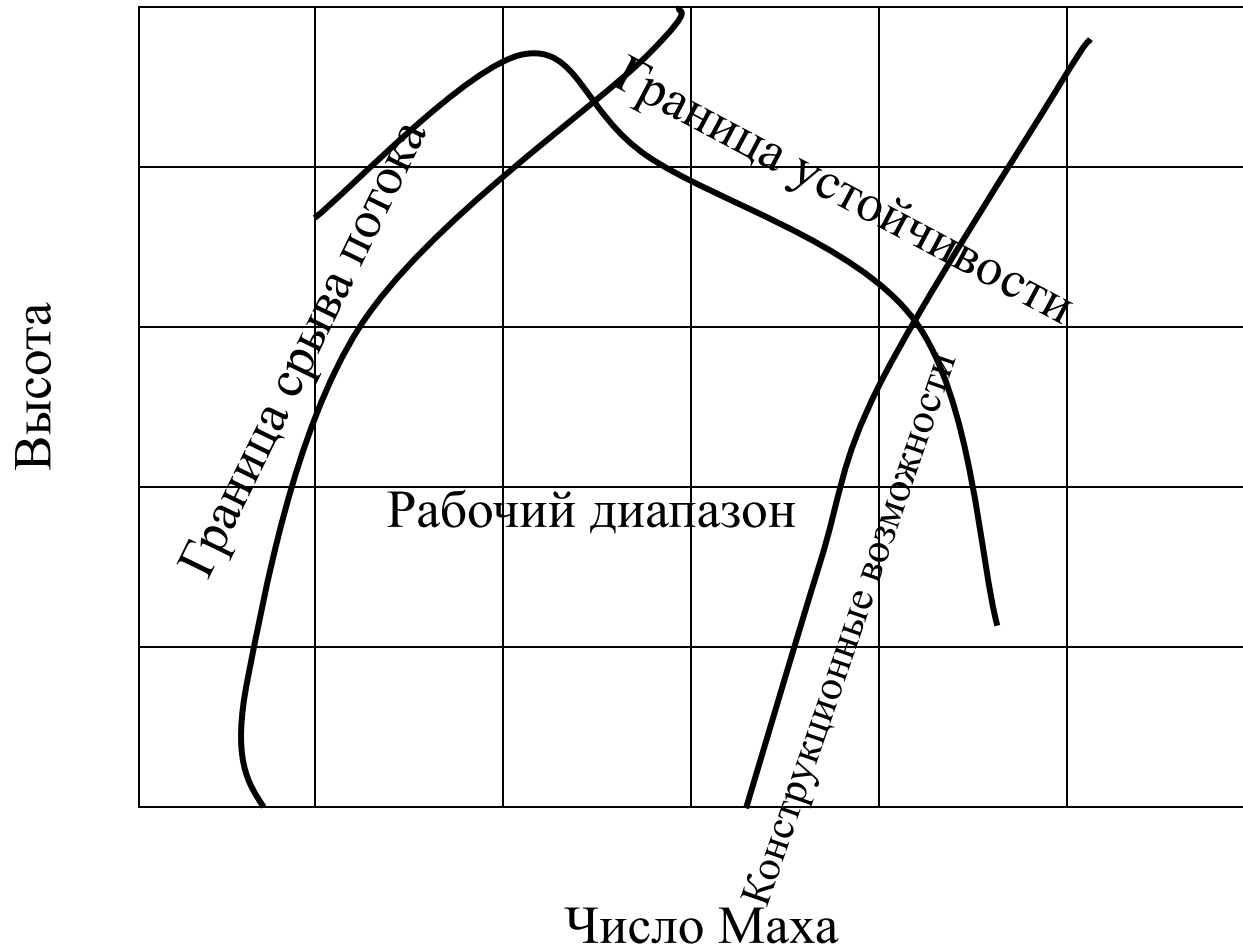


- Типовой структурный расчет в MSC.Nastran
  - ◆ Расчет статики
  - ◆ Расчет на собственные значения
  - ◆ И т.д.

# Диапазон эксплуатационных режимов

- Комбинация значений высоты и скорости, которые достигает или будет достигать ЛА.
- Определяется множество факторов:
  - ◆ Вес, номинальная мощность, лобовое сопротивление
  - ◆ Конструкционные возможности
  - ◆ Рабочий диапазон
- Расчет необходимо производить в диапазоне эксплуатационных режимов
  - ◆ Нагрузки, устойчивость, летные качества

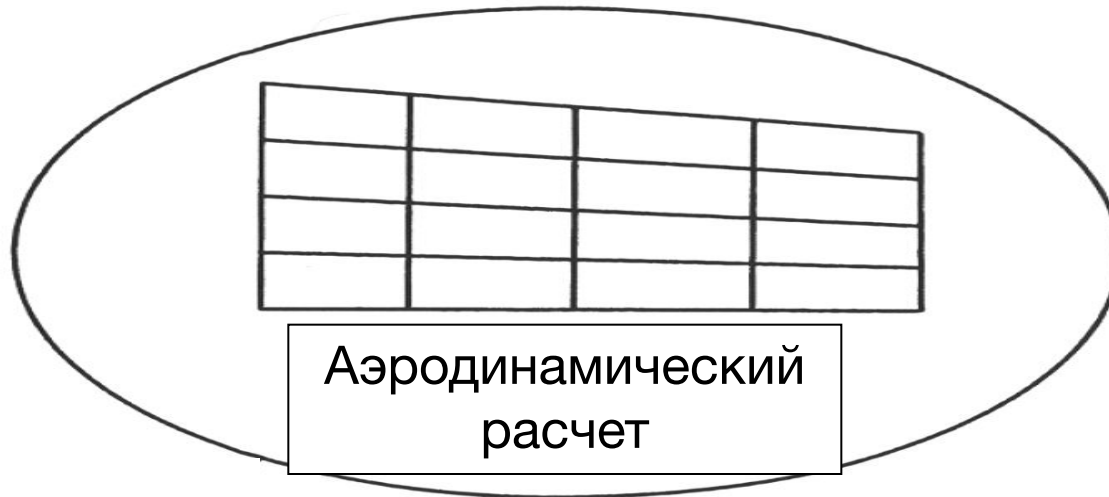
# Диапазон эксплуатационных режимов



# Атмосфера

- Стандарт международной организации гражданской авиации
  - ◆ Атмосфера состоит из слоев
  - ◆ Каждый слой характеризуется значением температуры на нижней границе и вертикальным температурным градиентом
  - ◆ Внутри слоя газ считается идеальным
- Переменные состояния функций высоты
  - ◆ Скорость звука, плотность, температура
  - ◆ Заданная скорость на высоте, единственное значение числа Маха, набегающий поток
  - ◆ Комбинация этих параметров называется “согласующая точка”

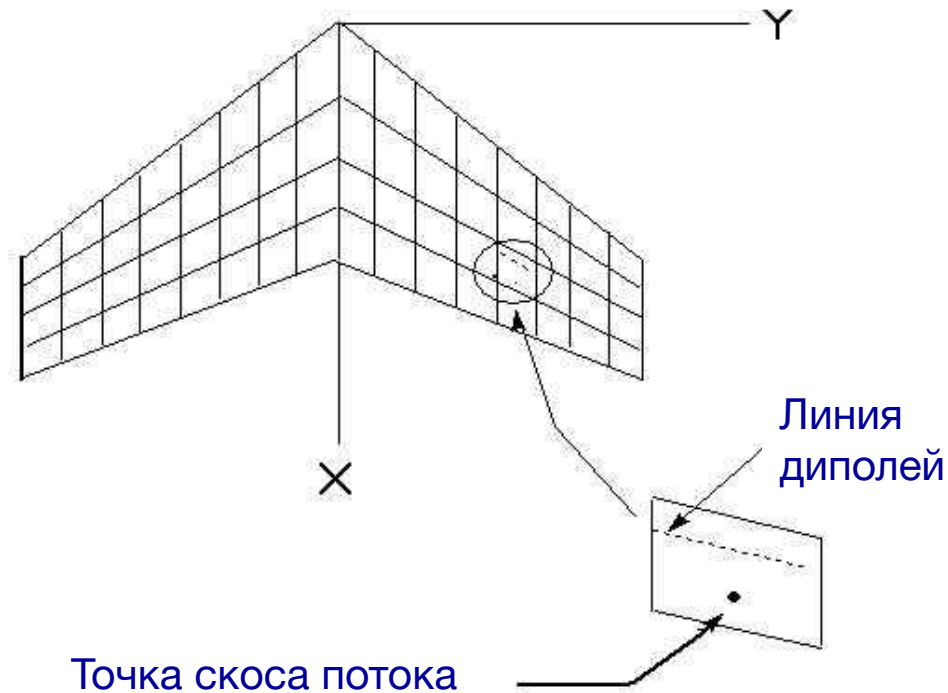
# Расчет аэроупругости



- Расчет аэродинамики в MSC.Nastran
- В настоящее время используется метод тонких пластин – в будущем планируется использовать метод объемных тел
- Рекомендации:
  - ◆ Метод дипольных решеток – для расчета на дозвуковых скоростях
  - ◆ Метод зона51 – для расчета на сверхзвуковых скоростях

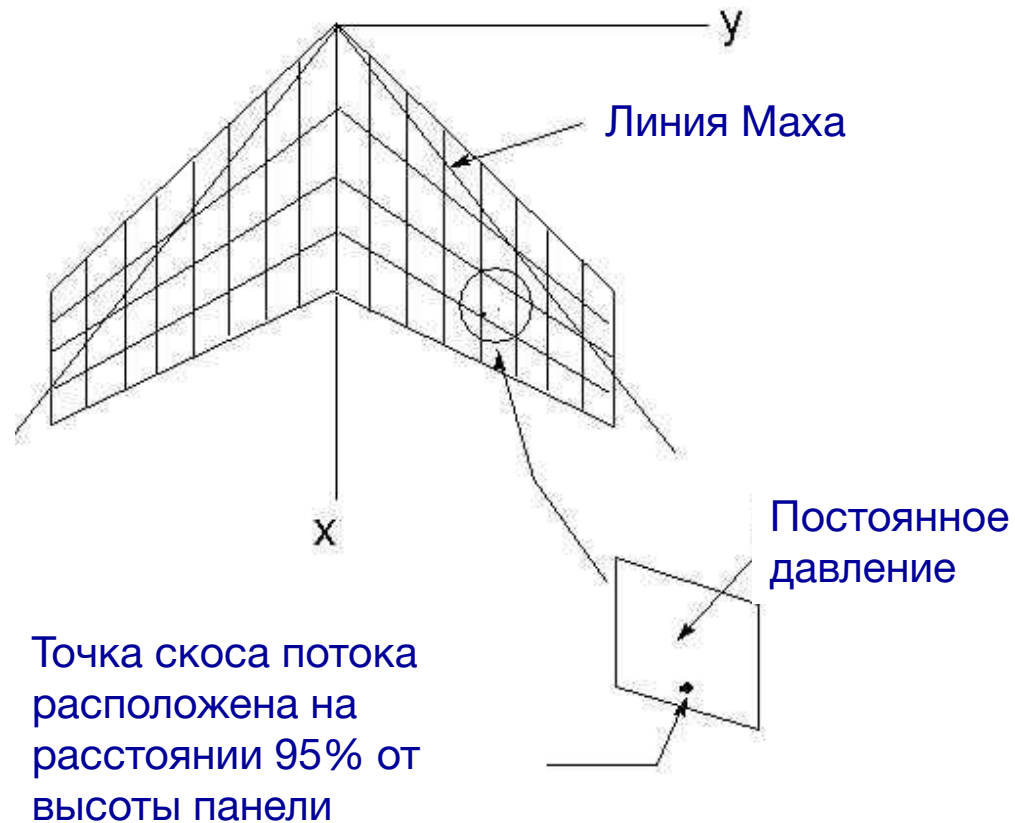


# Расчет аэроупругости



- Метод дипольных решеток - дозвук

# Расчет аэроупругости



- Метод Зона51 - сверхзвук

# Расчет аэроупругости



- Влияние аэродинамических сил на конструкцию.
- Влияние прогибов конструкции на аэродинамику.
- Рекомендованные типы сплайнов
  - ◆ Сплайн тонкая пластина (Thin Plate Spline (TPS)) – для объемных 3D конструкций.
  - ◆ Сплайн конечная пластина (Finite Plate Spline (FPS)) – для плоских конструкций.
  - ◆ Сплайн балка (Beam Spline ) – для балочных конструкций

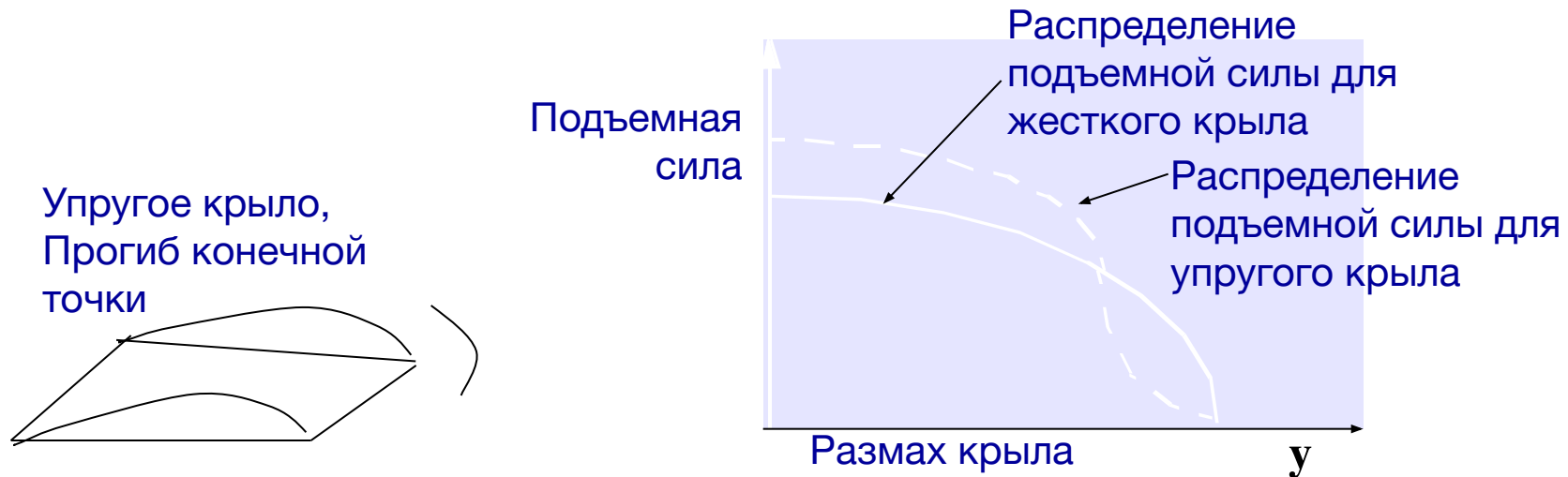
# Виды расчетов

- Статическая аэроупругость – SOL 144.
- Расчет флаттера – SOL 145 (входит в модуль FLDS).
- Расчет отклика на динамическое воздействие (порыв) – SOL 146 (пока не входит в модуль FLDS).
- Оптимизация – SOL 200 (Некоторые функции поддерживаются в Patran).

# Виды расчетов

- Статическая аэроупругость – SOL 144
- Расчет флаттера – SOL 145
- Расчет отклика на динамическое воздействие – SOL 146

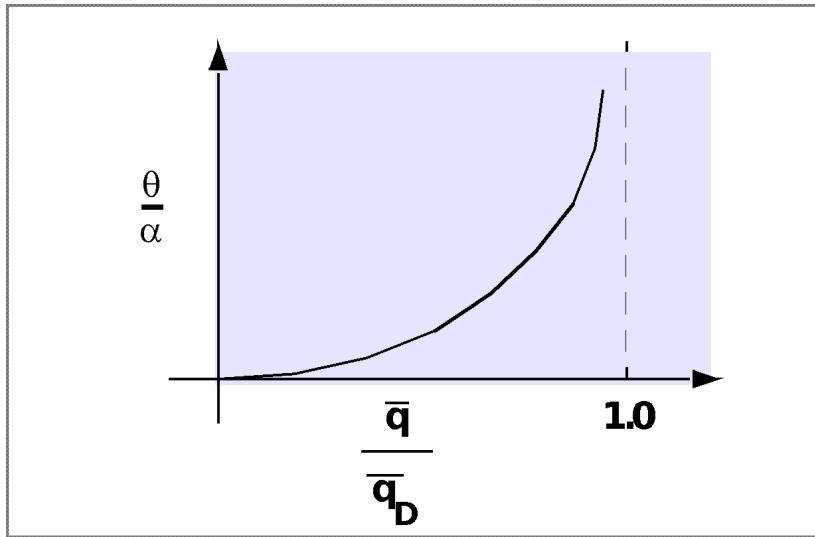
# Нагрузки в статической аэроупругости



FAR 25.301(c): «Если прогиб (деформация) под действием нагрузки будет существенно изменяться распределение внешней или внутренней нагрузки, то это перераспределение нагрузки должно быть взято из расчета.»

- Перераспределение нагрузки в статической аэроупругости
  - ◆ Упругая корректировка нагрузок на жесткий ЛА (неустойчивое)
  - ◆ Аэроупругая устойчивость и управление производными.
  - ◆ Аэроупругая балансировка нагрузок (устойчивое)

# Дивергенция – статическая неустойчивость



- Конструкции не хватает жесткости, чтобы выдержать аэродинамические нагрузки.
- Регулирование требований по запасу прочности на значениях скорости, выходящих за пределы огибающей значения летных параметров.

- MIL 8870A:  $V_{div} > 1.15 V_D$
- FAR 25.629:  $V_{div} > 1.15 V_D$
- FAR 23.629:  $V_{div} > 1.00 V_D$   
(FAR 23.1505:  $V_{NE} > 0.9 V_D$ )

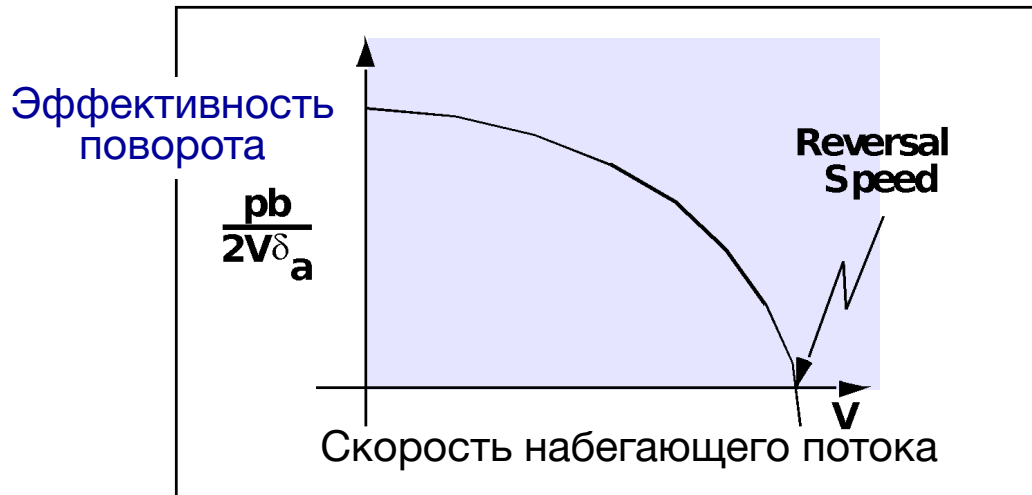
где

$V_{div}$  = скорость дивергенции

$V_D$  = заданная скорость пикирования

$V_{NE}$  = предельно допустимая скорость

# Управляющий эффект – влияние деформации на эффективность управления



- Руль
- Элерон
- Руль высоты

- Основной управляющий элемент ЛА может быть задан как
  - ◆ Упругий
  - ◆ Зафиксированный внешний элерон, вследствие больших скоростей
  - ◆ Интерцептор
- Условием нормальной управляемости является отсутствие реверса скорости



# Статическая аэроупругость – SOL 144

Ввод	Вывод
Постоянная аэродинамическая нагрузка	Производные статической устойчивости
Упругие свойства	Расчет балансировки
Инерциальные свойства	Статические нагрузки
	Статическая деформация

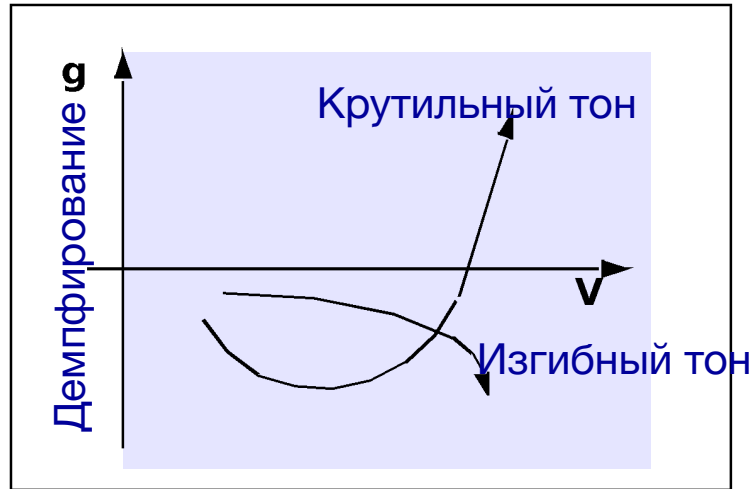
# Виды расчетов

Статическая аэроупругость – SOL 144

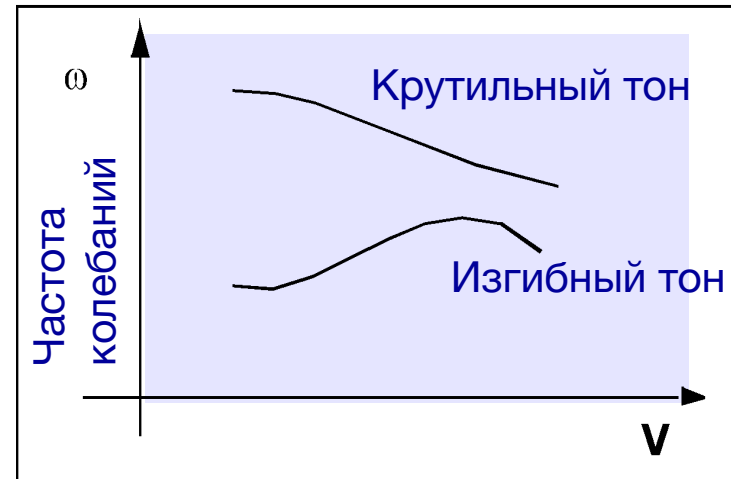
- Расчет флаттера – SOL 145

Расчет отклика на динамическое воздействие – SOL 146

# Флаттер – самовозбуждающаяся динамическая неустойчивость



Скорость набегающего потока



Скорость набегающего потока

- Критическая скорость набегающего потока и частота.
- Колебания возникают всякий раз, когда скорость потока достигает критической скорости флаттера.
- На скорости, приближающейся к значению скорости флаттера колебания возрастают.

# Расчет флаттера – SOL 145

Ввод	Вывод
Колебательная аэродинамика	Расчет флаттера
Конструктивная жесткость	Производная динамической устойчивости
Инерциальные свойства	
Система управления (необязательна)	

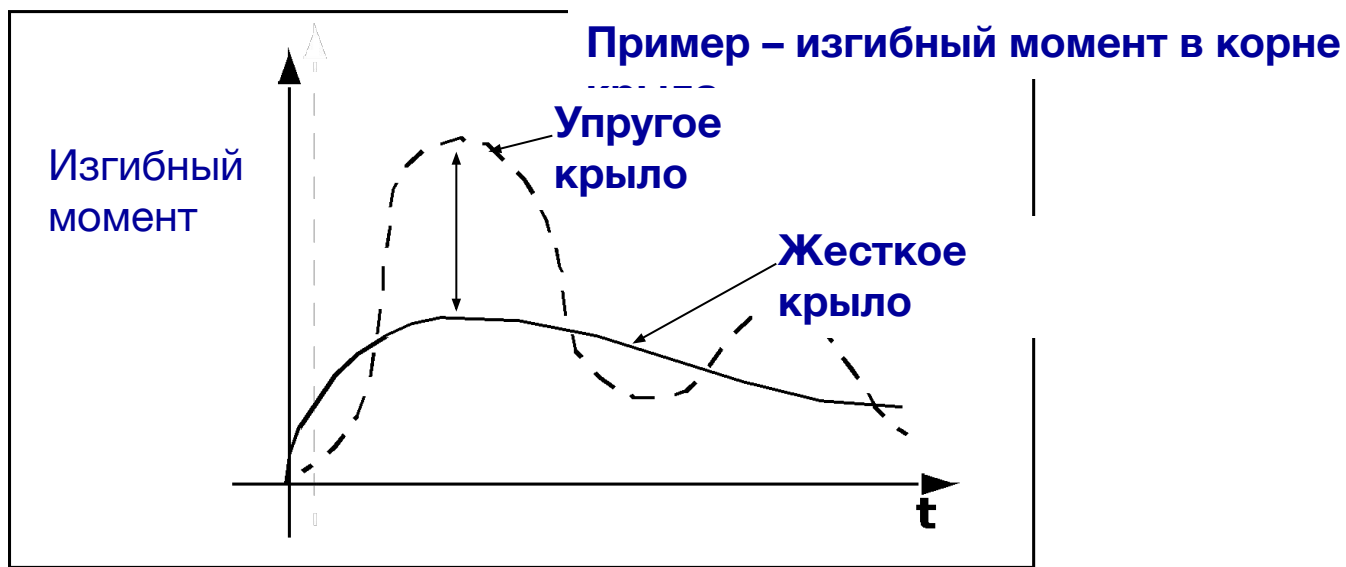
# Виды расчетов

Статическая аэроупругость – SOL 144.

Расчет флаттера – SOL 145.

- Расчет отклика на динамическое воздействие – SOL 146.

# Динамические аэроупругие нагрузки – упругие эффекты динамического режима



- Нагрузки:
  - ◆ Порыв
  - ◆ Маневры
  - ◆ Приземление
  - ◆ Динамическое возбуждение

# Расчет отклика на динамическое воздействие – SOL 146

Ввод	Вывод
Колебательная аэродинамика	Частотный отклик
Конструкционная жесткость	Переходная характеристика
Инерциальные свойства	Отклик на случайное воздействие
Система управления (необязательна) Возбуждение	Динамические нагрузки