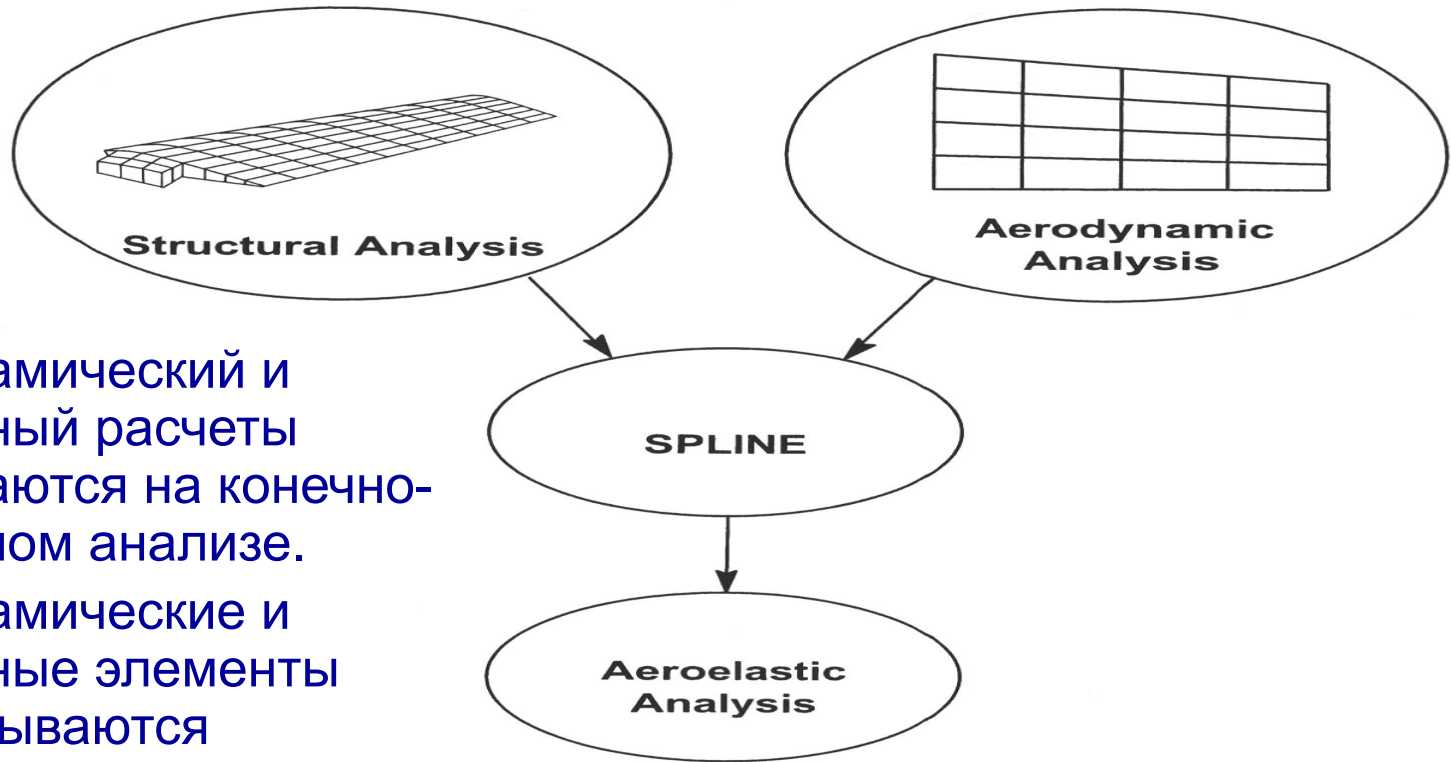


Раздел 1.1

Аэроупругость. Обзор.

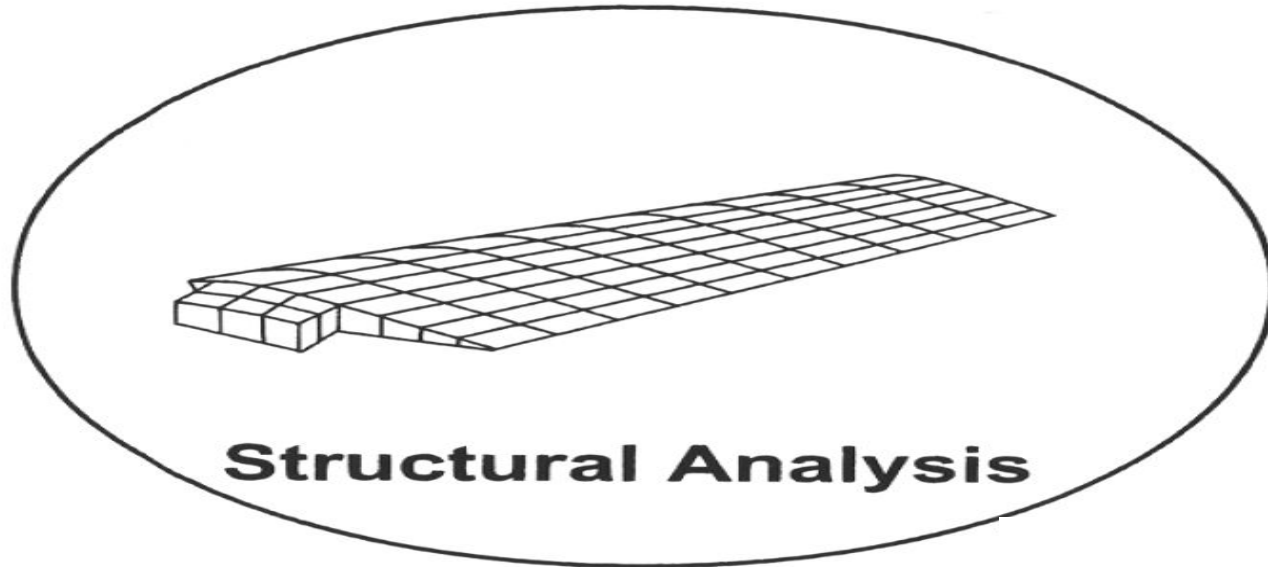


Расчет аэроупругости



- 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

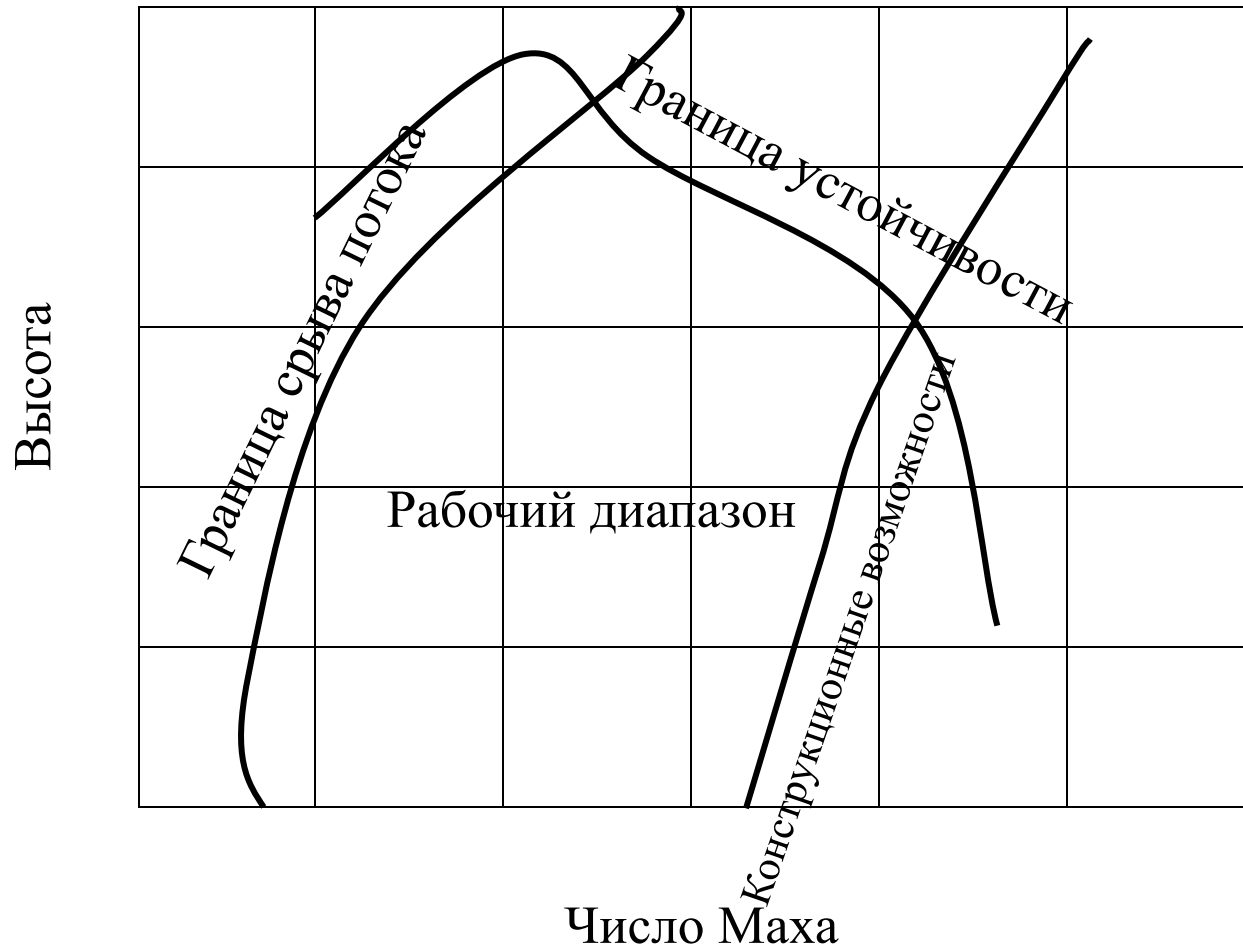


- Типовой структурный расчет в MSC.Nastran
 - ◆ Расчет статики
 - ◆ Расчет на собственные значения
 - ◆ И т.д.

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

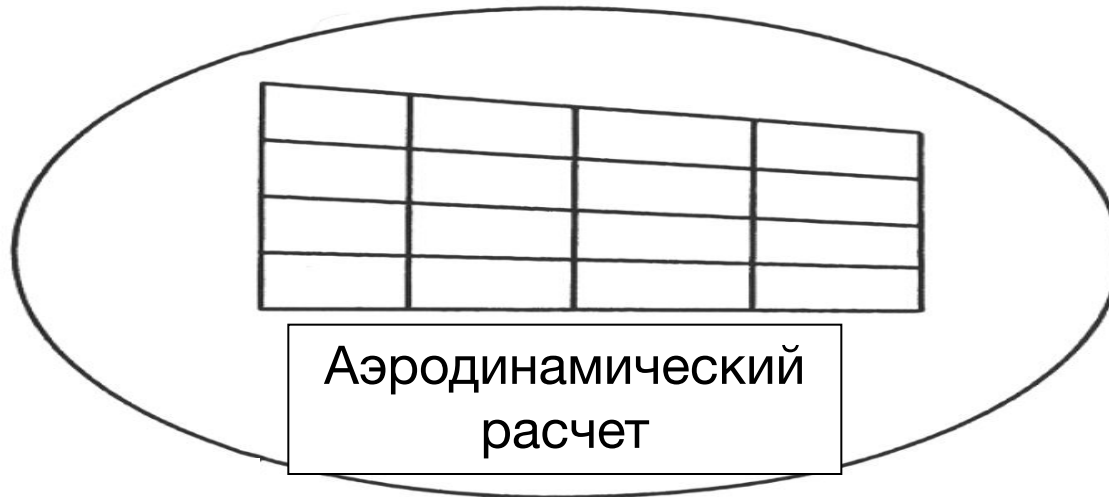
Диапазон эксплуатационных режимов



Атмосфера

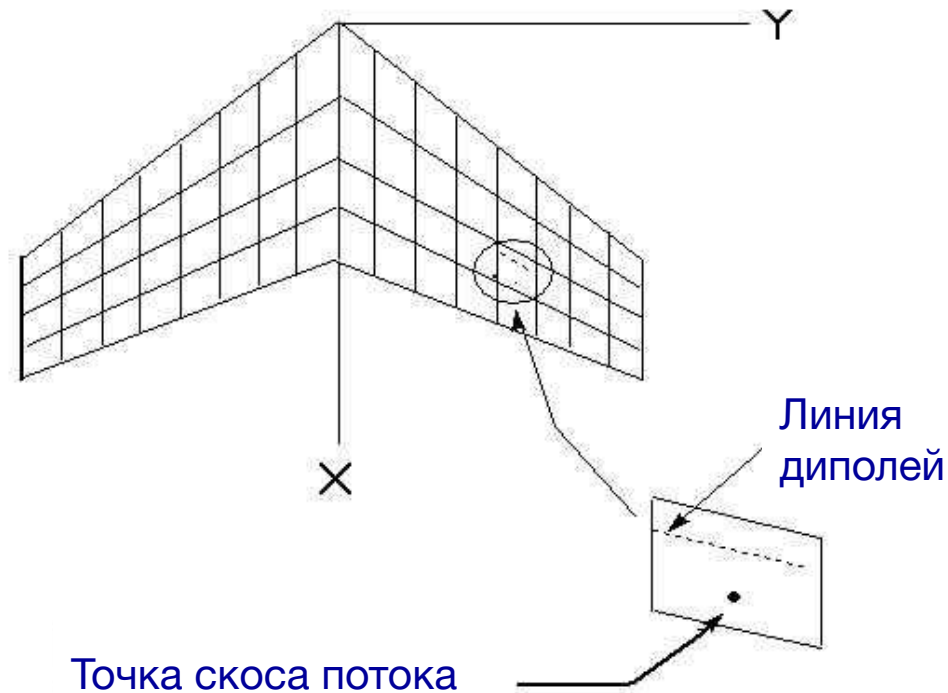
- Стандарт международной организации гражданской авиации
 - ◆ Атмосфера состоит из слоев
 - ◆ Каждый слой характеризуется значением температуры на нижней границе и вертикальным температурным градиентом
 - ◆ Внутри слоя газ считается идеальным
- Переменные состояния функций высоты
 - ◆ Скорость звука,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

Расчет аэроупругости



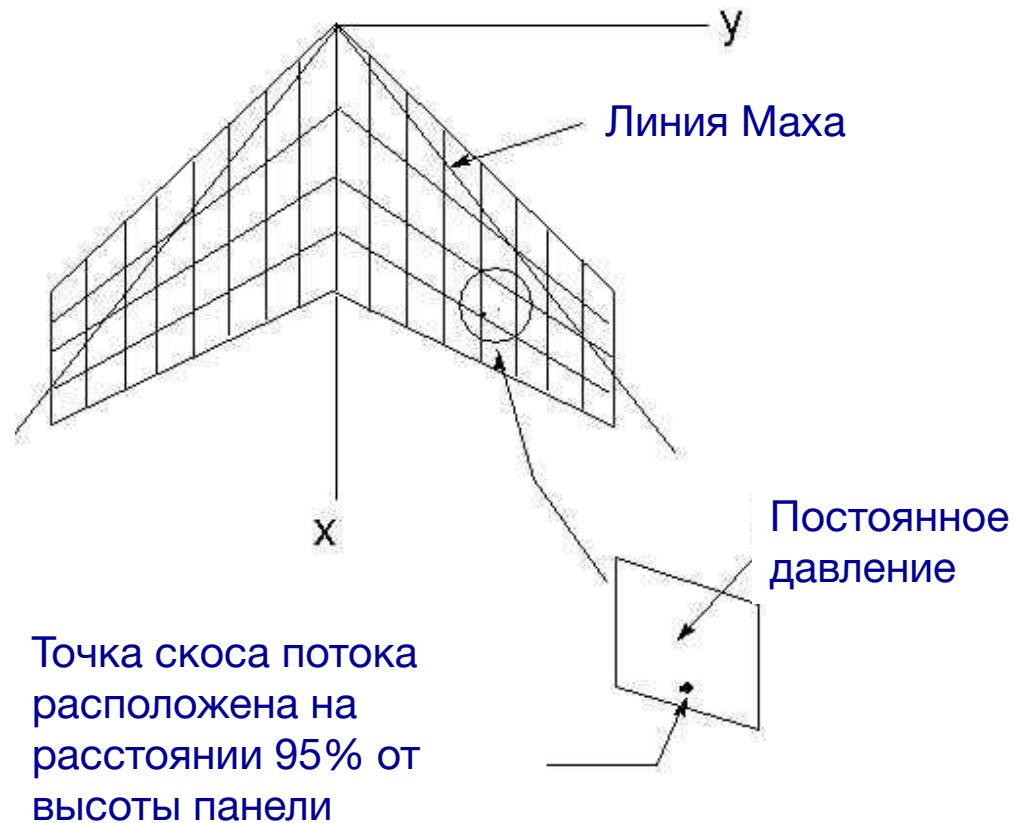
- Расчет аэродинамики в MSC.Nastran
- В настоящее время используется метод тонких пластин – в будущем планируется использовать метод объемных тел
- Рекомендации:
 - ◆ Метод дипольных решеток – для расчета на дозвуковых скоростях
 - ◆ Метод зона51 – для расчета на сверхзвуковых скоростях

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

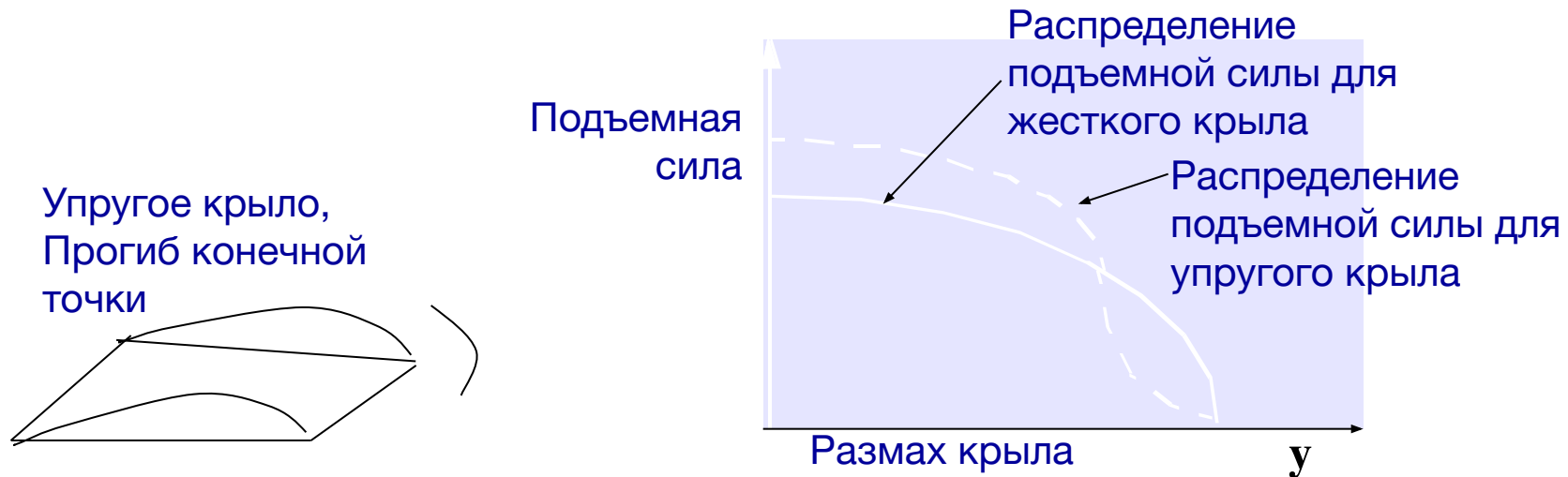
Виды расчетов

- 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

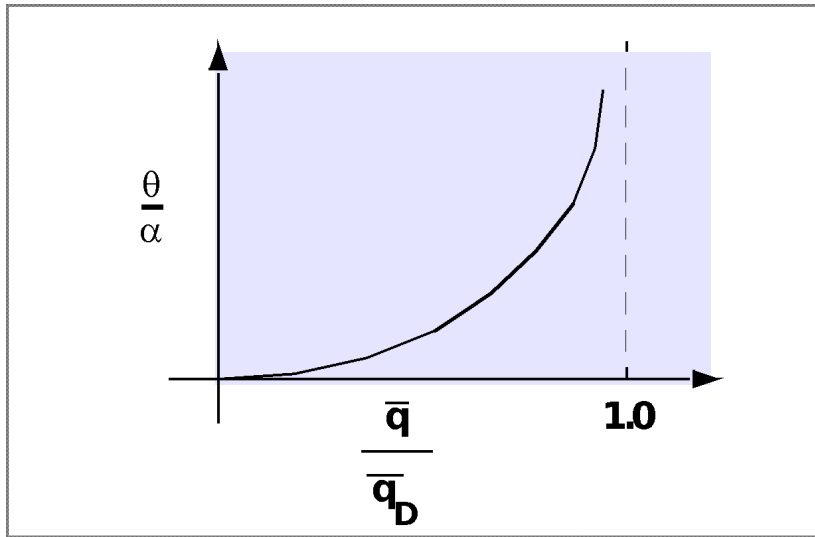
Нагрузки в статической аэроупругости



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: $V_{NE} > 0.9 V_D$)

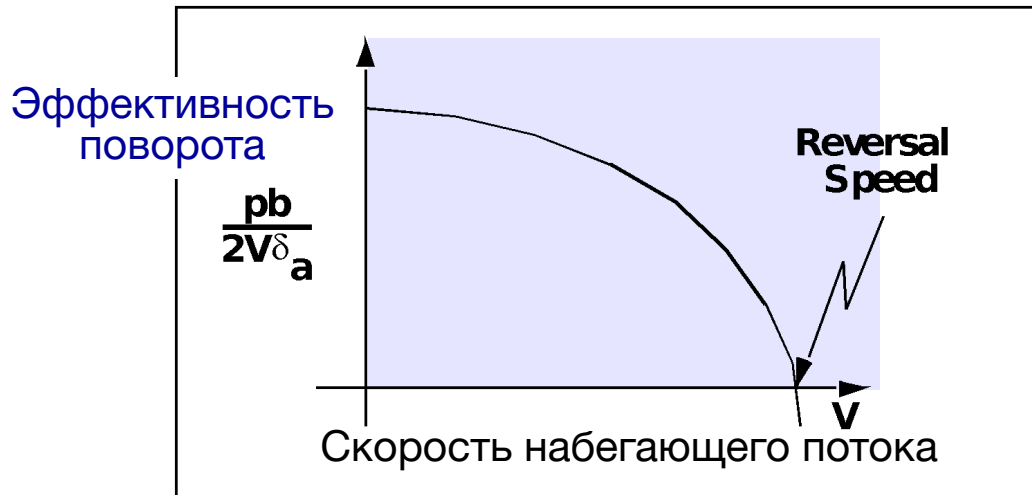
где

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

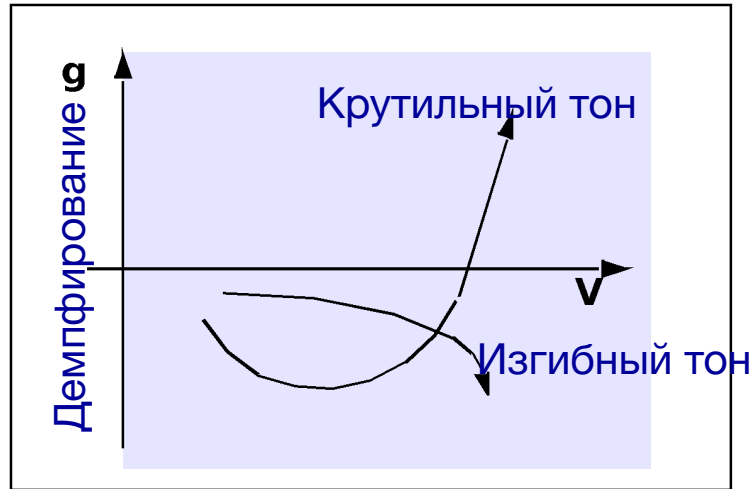
Виды расчетов

Статическая аэроупругость – SOL 144

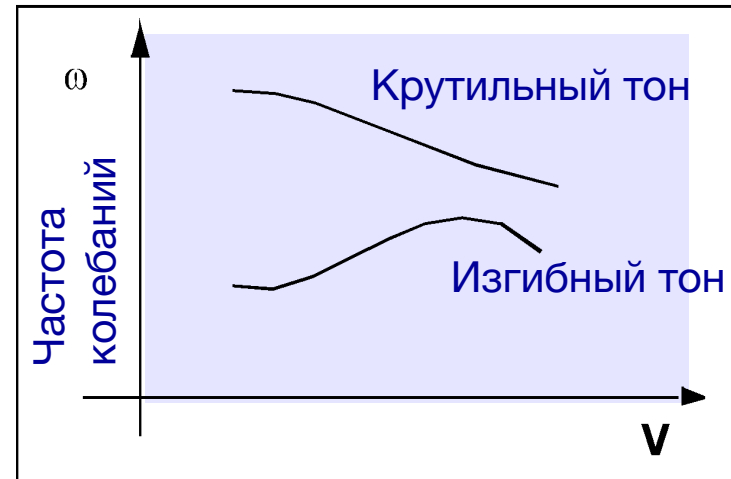
- Расчет флаттера – SOL 145

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)	

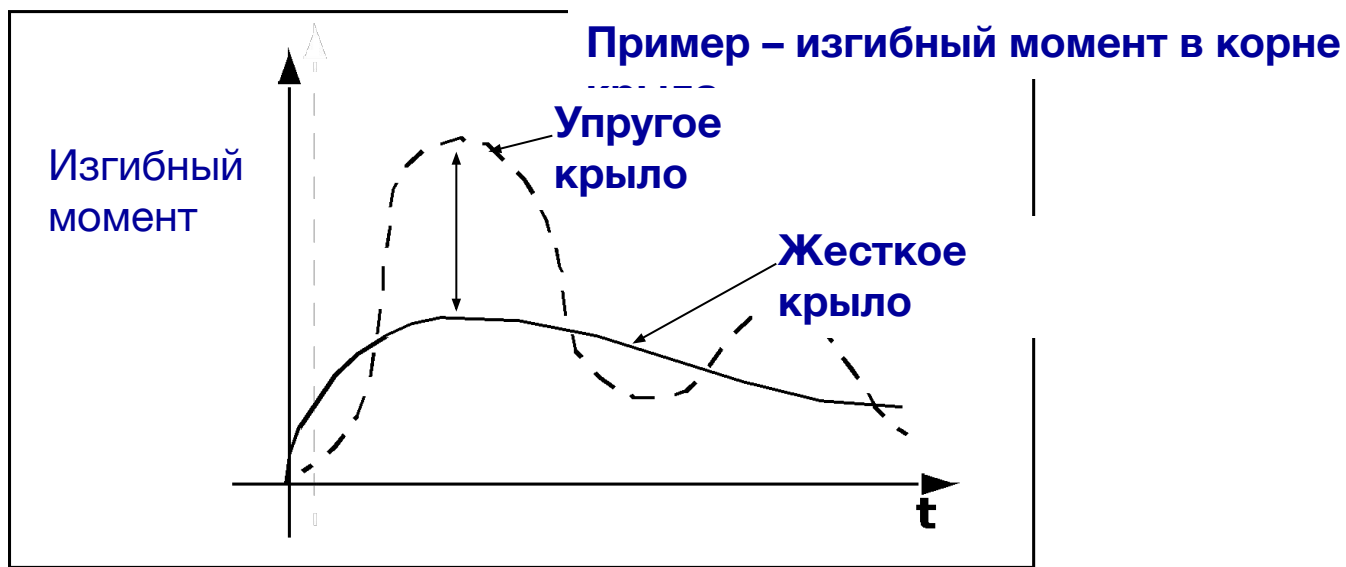
Виды расчетов

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