

# Раздел 11

## Метод остаточных векторов

# Раздел 11. Метод остаточных векторов

- ИДЕЯ МОДАЛЬНОГО ПОДХОДА..... 11 - 3
- СПОСОБЫ КОМПЕНСАЦИИ ОТСУТСТВИЯ МОД..... 11 - 5
- ОСТАТОЧНЫЙ ВЕКТОР..... 11 - 6
- ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ МЕТОДА ОСТАТОЧНЫХ  
● ВЕКТРОВ..... 11 - 8
- ПРИМЕР.....11 - 10
- ВХОДНОЙ ФАЙЛ ДЛЯ ПРИМЕРА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
● МЕТОДА ОСТАТОЧНЫХ ВЕКТОРОВ..... 11 - 11
- СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ.....11 - 12
- ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....11 - 14

# Идея модального подхода

- Предположим, что отклик может быть представлен линейной комбинацией вычисленных мод

$$\{ U \} = [ \varphi ] \{ \xi \}$$

- Количество **возможных** мод = количеству степеней свободы с соответствующими массами
- Если сохранены все моды, то результат будет аналогичный получаемому прямым методом
  - В практике не используется
  - Отсутствует сам смысл модального подхода

# Идея модального подхода

- $\{U\} = [\varphi] \{\xi\} = [\varphi]_r \{\xi\}_r + [\varphi]_n \{\xi\}_n$

где  $[\varphi]_r$  - количество *сохраненных* мод  
 $[\varphi]_n$  – *не сохраненные* моды

- $[\varphi]_r$  обычно составляет малую часть от  $[\varphi]$
- Точность модального решения зависит от того, как хорошо с помощью линейной комбинации  $[\varphi]_r$  может быть представлено истинное решение под действием приложенных нагрузок.

# Способы компенсации отсутствия МОД

- Имеются два метода компенсации отсутствующих мод
  - Метод остаточных векторов (рекомендуемый метод)
  - Метод модального ускорения (см. Приложение F)

# Остаточный вектор

- Добавим к модам векторы деформации, определенные статическим расчетом действия статической нагрузки
- Отклик отбрасываемых мод близок к статическому, если частоты этих мод высоки по сравнению с частотой воздействия
  - При  $(\omega/\omega_n) \ll 1$ , динамический фактор  $\longrightarrow 1$  (см. Раздел 1)
  - При соблюдении этого условия точность аппроксимации получается превосходной
- Повышение точности модального решения во всех случаях
- Рекомендуется применять во всех случаях использования модального подхода (не предусмотрено, однако, по умолчанию)

# Остаточный вектор

- **Применим при суперэлементном анализе**
- **Выводятся две таблицы результатов модального анализа**
  - Оригинальная таблица
  - Дополнительная таблица, содержащая также дополнительные собственные значения (в конце таблицы) – по одному на добавленные остаточные векторы.
- **Выполняется повторный анализ ортогональности, чтобы убедиться, что линейно-зависимые векторы удалены.**

# Интерфейс пользователя метода остаточных векторов

- Три способа определения остаточных векторов:
  - Форма деформации определяется под действием статических нагрузок (например, DAREA, FORCE, PLOAD4, LOADSET/LSEQ и т.д.)
  - Статическая форма деформации определяется под действием инерционных нагрузок (PARAM, RESVINER, YES или PARAM, INRLM, -1 )
  - Задание с помощью операторов USET,U6,GID,C или USET1,U6,C,GID1,GID2,...
    - К каждой степени свободы, указанной в операторе USETi, U6 прикладывается единичная сила в заданном направлении, - в результате генерируется статическая форма

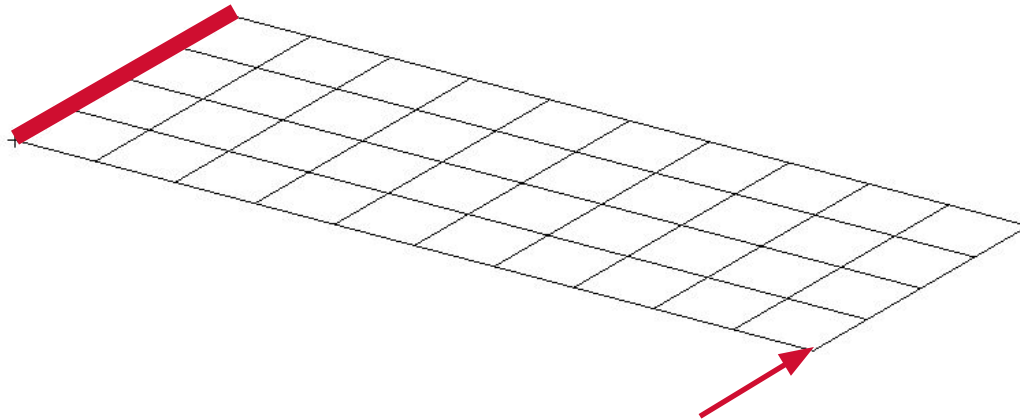


# Интерфейс пользователя метода остаточных векторов

- Инициирование применения метода производится оператором **PARAM,RESVEC,YES**
- Оператор **PARAM, RESVNER, YES** или **PARAM, INRLM, -1** добавляет дополнительные статические формы, возникающие под действием инерционных нагрузок.
- Для незакрепленных конструкций необходимо использовать оператор **SUPPORT**

# Пример

- Приложить к узлу 11 модели пластины в направлении  $Y$  синусоидальную нагрузку частотой 250 Гц и длительностью в один период. Вычислить оклик в узле 11, используя следующие методы.
  - 1. Модальный метод, сохранить 4 моды, принять модальное демпфирование 0,03
  - 2. Модальный метод (повторить шаг 1), включив остаточный вектор
  - 3. Прямой метод, приняв  $G=0,06$

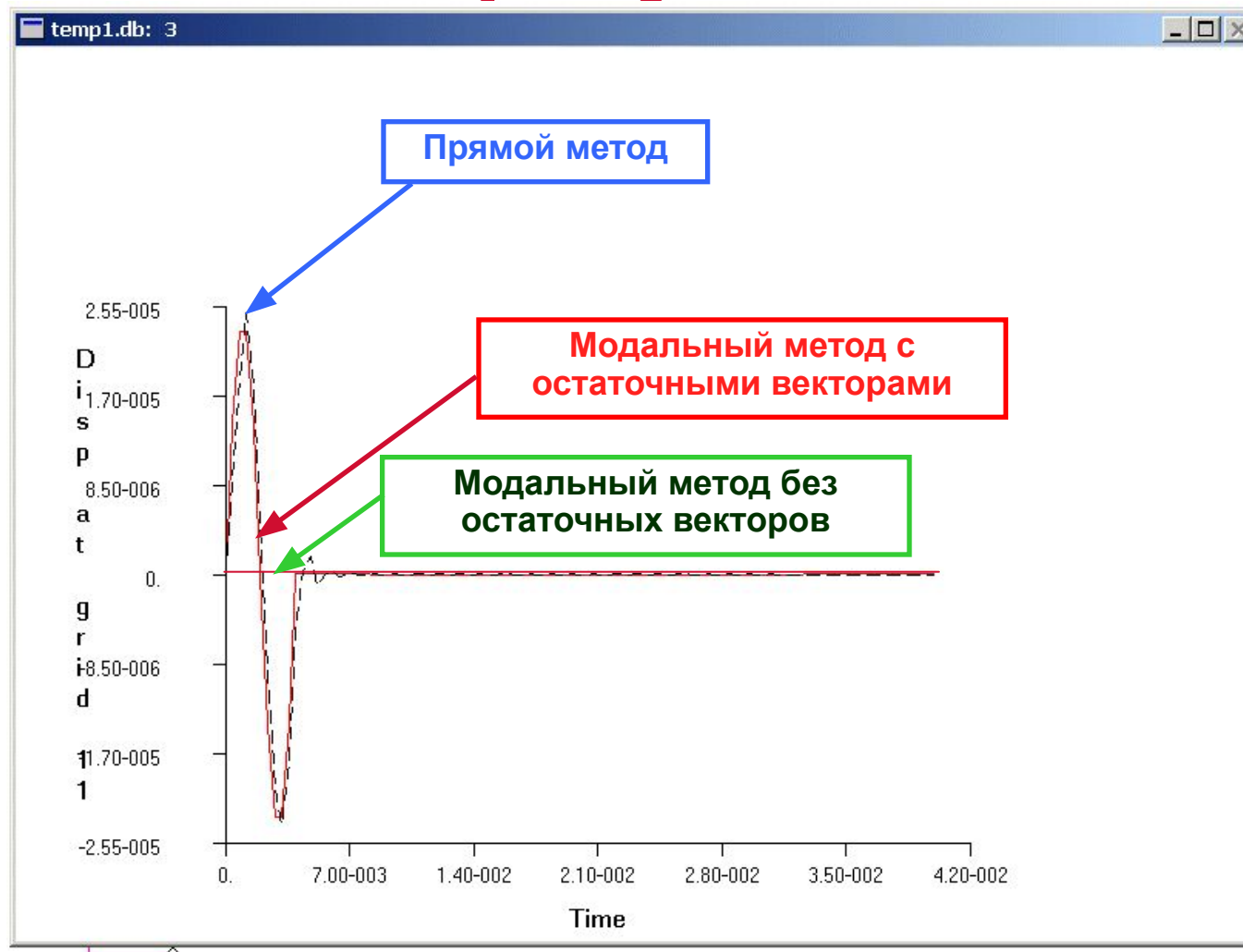


# Входной файл для примера использования метода остаточных векторов

```
$
$   resvec2.dat
$
SOL 112
CEND
TITLE = TRANSIENT RESPONSE WITH POINT LOAD IN THE Y-DIRECTION
SUBTITLE = MODAL APPROACH - REQUESTING 4 MODES - plus RESIDUAL VECTOR
ECHO = UNSORTED
SPC = 1
SET 111 = 11, 33, 55
DISPLACEMENT(SORT2) = 111
SDAMPING = 100
SUBCASE 1
METHOD = 100
DLOAD = 500
TSTEP = 100
$
OUTPUT (XYPLOT)
XGRID=YES
YGRID=YES
XTITLE= TIME (SEC)
YTITLE= DISPLACEMENT RESPONSE AT LOADED CORNER
XYPLOT DISP RESPONSE / 11 (T2)
YTITLE= DISPLACEMENT RESPONSE AT TIP CENTER
XYPLOT DISP RESPONSE / 33 (T2)
YTITLE= DISPLACEMENT RESPONSE AT OPPOSITE CORNER
XYPLOT DISP RESPONSE / 55 (T2)
$
```

```
$
BEGIN BULK
PARAM, COUPMASS, 1
PARAM, WTMASS, 0.00259
param,post,0
param,resvec,yes
$
$ PLATE MODEL DESCRIBED IN NORMAL MODES EXAMPLE PROBLEM
$
INCLUDE 'plate.bdf'
$
$ EIGENVALUE EXTRACTION PARAMETERS
$
EIGRL, 100, , ,4
$
$ SPECIFY MODAL DAMPING
$
TABDMP1, 100, CRIT,
+, 0., .03, 10., .03, ENDT
$
$ APPLY POINT LOAD (250 HZ)
$
TLOAD2, 500, 600,, 0, 0.0, 4.E-3, 250., -90.
$
DAREA, 600, 11, 2, 1.
$
TSTEP, 100, 100, 4.0E-4, 1
$
ENDDATA
```

# Сравнительный анализ результатов



# Сравнительный анализ результатов

- Первые 4 моды – моды изгиба и кручения с выходом пластины из плоскости
- Линейной комбинацией этих 4 мод невозможно представить перемещение пластины под действием нагрузки, действующей в плоскости
- Модальный метод, учитывающий первые 4 моды, без остаточных векторов дает неудовлетворительные результаты
- Модальный метод, учитывающий первые 4 моды и остаточный вектор дает благоприятный результат.
- Заметим, что при модальном методе используется модальной демпфирование, а при прямом – конструкционное, что приводит к некоторой разнице в результатах.

# Общие рекомендации

- Всегда включайте остаточный вектор в модальное решение (param,resvec,yes)
- Включайте остаточный вектор по действием инерционных нагрузок (param,resviner,yes) для закрепленных конструкций
- Используйте остаточные векторы в качестве *дополнительных* (не заменяющих) к модальным векторам.