

Раздел 6

Демпфирование

Раздел 6. Демпфирование

| | |
|---|--------|
| • ДЕМПФИРОВАНИЕ..... | 6 - 3 |
| • КОНСТРУКЦИОННОЕ И ВЯЗКОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ..... | 6 - 4 |
| • КОНСТРУКЦИОННОЕ И ВЯЗКОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ (ПОСТОЯННЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ)..... | 6 - 7 |
| • ДЕМПФИРОВАНИЕ (ВЫВОДЫ)..... | 6 - 8 |
| • КОНСТРУКЦИОННОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ..... | 6 - 9 |
| • ВЯЗКОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ..... | 6 - 10 |
| МОДАЛЬНОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ..... | 6 - |
| 18 | |
| • ДЕМПФИРОВАНИЕ РЭЛЕЯ..... | 6 - 19 |

Демпфирование

- Демпфирование – это рассеивание энергии, наблюдающееся в конструкциях.
- Точное моделирование демпфирования затруднено вследствие множественности механизмов его возникновения:
 - Вязкостные эффекты (буфер, амортизатор)
 - Внешнее трение (трение в соединениях конструкции)
 - Внутреннее трение (характерная особенность материала)
 - Структурные нелинейности (пластичность)
- Аналитические зависимости, используемые для моделирования демпфирования
 - Вязкая демпфирующая сила
 - $f_v = b\dot{u}$
 - $m\ddot{u} + b\dot{u} + ku = p$
 - Конструкционная демпфирующая сила
 - $f_s = igku$ where $i = \sqrt{-1}$
 - $g = \text{structural damping coefficient}$
 - $m\ddot{u} + (1 + ig)ku = p$

Конструкционное и вязкое демпфирование

- Предположим, что колебания синусоидальные:

$$u = \bar{u}e^{i\omega t}$$

- Тогда: $\dot{u} = i\omega\bar{u}e^{i\omega t}$ $\ddot{u} = -\omega^2\bar{u}e^{i\omega t}$

- Вязкое демпфирование:

$$m\ddot{u} + b\dot{u} + ku = p(t)$$

$$m(-\omega^2\bar{u}e^{i\omega t}) + b(i\omega\bar{u}e^{i\omega t}) + k\bar{u}e^{i\omega t} = p(t)$$

$$-\omega^2 m\bar{u}e^{i\omega t} + ib\omega\bar{u}e^{i\omega t} + k\bar{u}e^{i\omega t} = p(t)$$

- Конструкционное демпфирование:

$$m\ddot{u} + (1+ig)ku = p(t)$$

$$m(-\omega^2\bar{u}e^{i\omega t}) + (1+ig)k\bar{u}e^{i\omega t} = p(t)$$

$$-\omega^2 m\bar{u}e^{i\omega t} + igk\bar{u}e^{i\omega t} + k\bar{u}e^{i\omega t} = p(t)$$

Конструкционное и вязкое демпфирование

- Уравнения идентичны, если:

$$gk = b\omega \rightarrow b = \frac{gk}{\omega}$$

- Следовательно, если конструкционное демпфирование (g) моделируется эквивалентным вязким демпфированием (b), то указанное уравнение справедливо только на одной частоте ω_3 (или ω_4).

$$b = \frac{gk}{\omega}$$

- если

$$\omega = \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$b = \frac{gk}{\omega_n} = g\omega_n m$$

- НО

$$b_c = 2m\omega_n$$

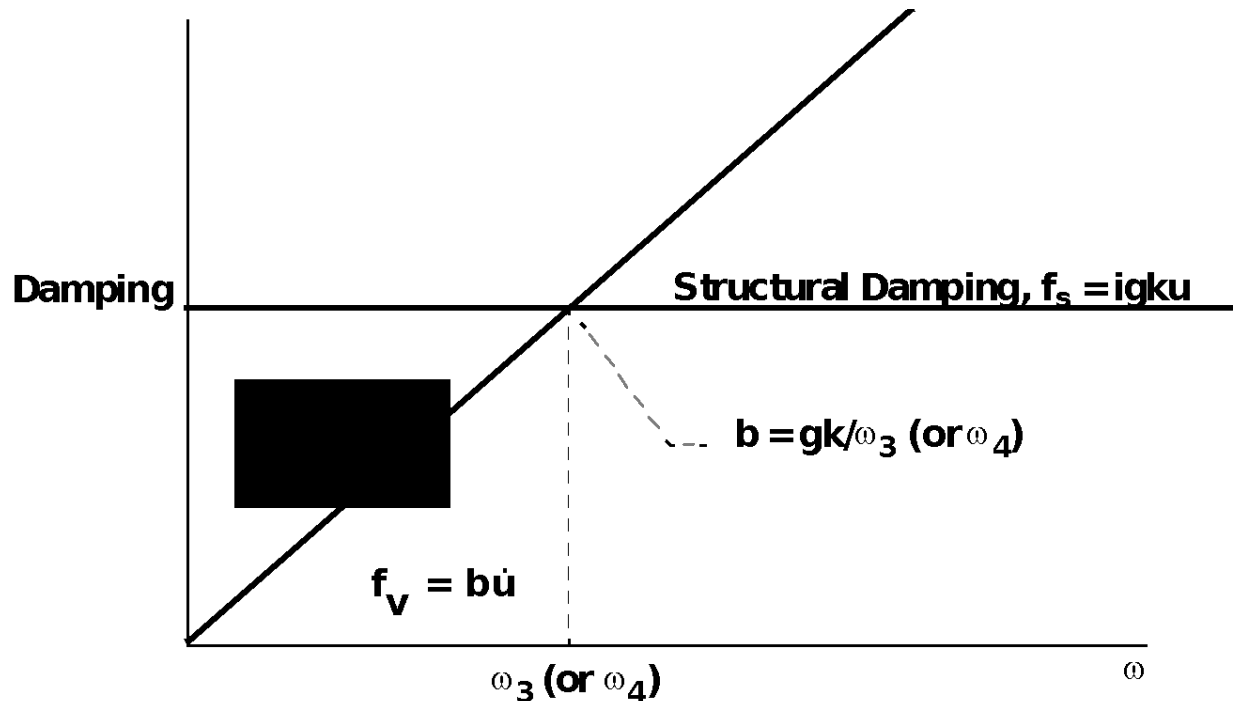
Конструкционное и вязкое демпфирование

- тогда

$$\frac{b}{b_c} = \zeta = \frac{g}{2}$$

- ζ - коэффициент апериодичности (доля критического демпфирования)
- $g = \frac{1}{Q}$ - коэффициент конструкционного демпфирования
- Q – добротность (или динамический фактор)

Конструкционное и вязкое демпфирование (постоянные перемещения)



- Вязкое и конструкционное демпфирование равны на частоте ω_3 (или ω_4).

Демпфирование (выводы)

- Вязкая демпфирующая сила пропорциональна скорости
- Конструкционная демпфирующая сила пропорциональна перемещению (деформации)
- Коэффициент апериодичности $b/b_{cr} \equiv \zeta$
- Коэффициент добротности Q обратно пропорционален величине энергии, рассеиваемой за один цикл колебаний
- При резонансе $(\omega \cong \omega_n)$
 - $\zeta = g/2$
 - $Q = 1/(2\zeta)$
 - $Q = 1/g$

Конструкционное демпфирование

- Конструкционное демпфирование

- Операторы MATi

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------|-----|--------|---|-----|-----|---|------|------|----|
| MAT1 | MID | E | G | NU | RHO | A | TREF | GE | |
| MAT1 | 2 | 30.0E6 | | 0.3 | | | | 0.10 | |

- **PARAM,G, <коэффициент> (по умолчанию = 0)**

- Коэффициент глобального конструкционного демпфирования (умножается на глобальную матрицу жесткости системы)

- **PARAM,W3, <коэффициент> (по умолчанию = 0)**

- Конвертирует глобальное конструкционное демпфирование в эквивалентное вязкое демпфирование

- **PARAM,W4, <коэффициент> (по умолчанию = 0)**

- Конвертирует конструкционное демпфирование в элементе в эквивалентное вязкое демпфирование

- Единицы измерения W3 и W4 – рад/ед. времени

- Если используется PARAM,G, <...>, то <коэффициент> в операторе PARAM,W3, ... д.б. больше нуля, иначе оператор PARAM,G при анализе переходного процесса будет игнорирован (подробнее см. Раздел 7).

Вязкое демпфирование

- **Скалярное вязкое демпфирование**

| | |
|---------------|--|
| CDAMP1 | Scalar damper between two DOFs with reference to a property entry. |
| CDAMP2 | Scalar damper between two DOFs without reference to a property entry (PDAMP). |
| CDAMP3 | Scalar damper between two scalar points (SPOINT) with reference to a property entry (PDAMP). |
| CDAMP4 | Scalar damper between two scalar points (SPOINT) without reference to a property entry. |
| CVISC | Element damper between two grid points; references a property entry (PVISC). |
| CBUSH | Generalized spring and damper element that may also be frequency dependent. |

Вязкое демпфирование

CDAMP1 Scalar Damper Connection

Defines a scalar damper element.

Format:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|-----|-----|----|----|----|----|---|---|----|
| CDAMP1 | EID | PID | G1 | C1 | G2 | C2 | | | |

Example:

| | | | | | | | | | |
|--------|----|---|---|--|----|---|--|--|--|
| CDAMP1 | 19 | 6 | 0 | | 23 | 2 | | | |
|--------|----|---|---|--|----|---|--|--|--|

| Field | Contents |
|--------------|--|
| EID | Unique element identification number. (Integer > 0) |
| PID | Property identification number of a PDAMP property entry. (Integer > 0; Default = EID) |
| G1, G2 | Geometric grid point identification number. (Integer > 0) |
| C1, C2 | Component number. (0 < Integer < 6; 0 or up to six unique integers, 1 through 6 may be specified in the field with no embedded blanks. 0 applies to scalar points and 1 through 6 applies to grid points.) |

Remarks:

1. Scalar points may be used for G1 and/or G2, in which case the corresponding C1 and/or C2 must be zero or blank. Zero or blank may be used to indicate a grounded terminal G1 or G2 with a corresponding blank or zero C1 or C2. A grounded terminal is a point
2. Element identification numbers should be unique with respect to all other element identification
3. The two connection points (G1, C1) and (G2, C2), must be distinct.
4. For a discussion of the scalar elements, see the MSC.Nastran Reference Manual, Section 5.6.
5. When CDAMP1 is used in heat transfer analysis, it generates a lumped heat capacity.
6. A scalar point specified on this entry need not be defined on an SPOINT entry.
7. If Gi refers to a grid point then Ci refers to degrees of freedom(s) in the displacement coordinate system specified by CD on the GRID entry.

Вязкое демпфирование

PDAMP

Scalar Damper Property

Specifies the damping value of a scalar damper element using defined CDAMP1 or CDAMP3 entries.

Format:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------|------|----|------|----|------|----|------|----|----|
| PDAMP | PID1 | B1 | PID2 | B2 | PID3 | B3 | PID4 | B4 | |

Example:

| | | | | | | | | | |
|-------|----|-----|---|-----|--|--|--|--|--|
| PDAMP | 14 | 2.3 | 2 | 6.1 | | | | | |
|-------|----|-----|---|-----|--|--|--|--|--|

Field

Contents

| | |
|------|---|
| PIDi | Property identification number. (Integer > 0) |
| Bi | Force per unit velocity. (Real) |

Remarks:

1. Damping values are defined directly on the CDAMP2 and CDAMP4 entries, and therefore do not require a PDAMP entry.
2. A structural viscous damper, CVISC, may also be used for geometric grid points.
3. Up to four damping properties may be defined on a single entry.
 - For a discussion of scalar elements, see the MSC.Nastran Reference Manual, Section 5

Вязкое демпфирование

CDAMP2 Scalar Damper Property and Connection

Defines a scalar damper element without reference to a material or property entry.

Format

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|-----|---|----|----|----|----|---|---|----|
| CDAMP2 | EID | B | G1 | C1 | G2 | C2 | | | |

Example:

| | | | | | | | | | |
|--------|----|------|----|---|--|--|--|--|--|
| CDAMP2 | 16 | 2.98 | 32 | 1 | | | | | |
|--------|----|------|----|---|--|--|--|--|--|

| Field | Contents |
|--------|--|
| EID | Unique element identification number. (Integer > 0) |
| B | Value of the scalar damper. (Real) |
| G1, G2 | Geometric grid point identification number. (Integer > 0) |
| C1, C2 | Component number. (0 < Integer < 6; 0 or up to six unique integers, 1 through 6 may be specified in the field with no embedded blanks. 0 applies to scalar points and 1 through 6 applies to grid points.) |

Remarks:

1. Scalar points may be used for G1 and/or G2, in which case the corresponding C1 and/or C2 must be zero or blank. Zero or blank may be used to indicate a grounded terminal G1 or G2 with a corresponding blank or zero C1 or C2. A grounded terminal is a point.
2. Element identification numbers should be unique with respect to all other element identification numbers.
3. The two connection points (G1, C1) and (G2, C2), must be distinct.
4. For a discussion of the scalar elements, see the MSC.Nastran Reference Manual, Section 5.6.
5. When CDAMP2 is used in heat transfer analysis, it generates a lumped heat capacity.
6. A scalar point specified on this entry need not be defined on an SPOINT entry.
7. If Gi refers to a grid point then Ci refers to degrees of freedom(s) in the displacement coordinate system specified by CD on the GRID entry.

Вязкое демпфирование

CDAMP3 Scalar Damper Connection to Scalar Points Only

Defines a scalar damper element that is connected only to scalar points.

Format:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|-----|-----|----|----|---|---|---|---|----|
| CDAMP3 | EID | PID | S1 | S2 | | | | | |

Example:

| | | | | | | | | | |
|--------|----|-----|----|----|--|--|--|--|--|
| CDAMP3 | 16 | 978 | 24 | 36 | | | | | |
|--------|----|-----|----|----|--|--|--|--|--|

| Field | Contents |
|--------|--|
| EID | Unique element identification number. (Integer > 0) |
| PID | Property identification number of a PDAMP entry. (Integer > 0; Default =EID) |
| S1, S2 | Scalar point identification numbers. (Integer > 0; S1 ≠ S2) |

Remarks:

1. S1 or S2 may be blank or zero, indicating a constrained coordinate.
2. Element identification numbers should be unique with respect to all other element identification numbers.
3. Only one scalar damper element may be defined on a single entry.
4. For a discussion of the scalar elements, see the MSC.Nastran Reference Manual, Section 5.6.
5. When CDAMP3 is used in heat transfer analysis, it generates a lumped heat capacity.
6. A scalar point specified on this entry need not be defined on an SPOINT entry.

Вязкое демпфирование

CDAMP4 Scalar Damper Property and Connection to Scalar Points Only

Defines a scalar damper element that connected only to scalar points and without reference to a material or property entry.

Format:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|-----|---|----|----|---|---|---|---|----|
| CDAMP4 | EID | B | S1 | S2 | | | | | |

Example:

| | | | | | | | | | |
|--------|----|------|---|---|--|--|--|--|--|
| CDAMP4 | 16 | -2.6 | 4 | 9 | | | | | |
|--------|----|------|---|---|--|--|--|--|--|

| Field | Contents |
|--------|---|
| EID | Unique element identification number. (Integer > 0) |
| B | Scalar damper value. (Real) |
| S1, S2 | Scalar point identification numbers. (Integer > 0; S1 ≠ S2) |

Remarks:

1. S1 or S2 may be blank or zero, indicating a constrained coordinate.
2. Element identification numbers should be unique with respect to all other element identification numbers.
3. Only one scalar damper element may be defined on a single entry.
4. For a discussion of the scalar elements, see the MSC.Nastran Reference Manual, Section 5.6.
5. If this entry is used in heat transfer analysis, it generates a lumped heat capacity.

Вязкое демпфирование

CVISC Viscous Damper Connection

Defines a viscous damper element.

Format:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------|-----|-----|----|----|---|---|---|---|----|
| CVISC | EID | PID | G1 | G2 | | | | | |

Example:

| | | | | | | | | | |
|-------|----|------|----|----|--|--|--|--|--|
| CVISC | 21 | 6327 | 29 | 31 | | | | | |
|-------|----|------|----|----|--|--|--|--|--|

| Field | Contents |
|--------|--|
| EID | Element identification number. (Integer > 0) |
| PID | Property identification number of a PVISC entry. (Integer > 0; Default = EID) |
| G1, G2 | Grid point identification numbers of connection points. (Integer > 0; S1 ≠ S2) |

Remarks:

1. Element identification numbers should be unique with respect to all other element identification numbers.
2. Only one viscous damper element may be defined on a single entry.

Вязкое демпфирование

PVISC Viscous Damping Element Property

Defines properties of a one-dimensional viscous damping element (CVISC entry).

Format:

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------|------|-----|-----|---|------|-----|-----|---|----|
| PVISC | PID1 | CE1 | CR1 | | PID2 | CE2 | CR2 | | |

Example:

| | | | | | | | | | |
|-------|---|-----|------|--|--|--|--|--|--|
| PVISC | 3 | 6.2 | 3.94 | | | | | | |
|-------|---|-----|------|--|--|--|--|--|--|

| Field | Contents |
|----------|--|
| PIDi | Property identification number. (Integer > 0) |
| CE1, CE2 | Viscous damping values for extension in units of force per unit velocity. (Real) |
| CR1, CR2 | Viscous damping values for rotation in units of moment per unit velocity. (Real) |

Remarks:

1. Viscous properties are material independent; in particular, they are temperature independent.
2. One or two viscous element properties may be defined on a single entry.

Модальное демпфирование

- CASE CONTROL
- SDAMP = n \$ “инициализирует” таблицу модального демпфирования.
- BULK DATA
- TABDMP1,n,CRIT
- ,x1,y1,x2,y2,..endt
- \$ Зависимость демпфирования ("G", "CRIT" или "Q")
- \$ от частоты.

Демпфирование Рэлея

- Пропорционально матрице массе и/или матрице жесткости
- Известно также как “пропорциональное” демпфирование
- Пропорциональность матрице масс $PARAM, ALPHA1, <x>$
- Пропорциональность матрице жесткости $PARAM, ALPHA2, <y>$
- Применимо при анализе переходного процесса и анализе частотного отклика
- Коэффициенты умножаются на матрицы, соответствующие наборам степеней свободы d-set (при прямом анализе) или h-set (при модальном анализе)
- “Добавка” к матрице вязкого демпфирования:
$$[B'] = [B] + \{alpha1 * [M] + alpha2 * [K]\}$$

Демпфирование Рэлея

- ALPHA1 и ALPHA2 – комплексные параметры, например

PARAM, ALPHA2, 1.25E-4, 0.

- Интерпретация модальной матрицы демпфирования

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\varphi}^T \mathbf{B} \boldsymbol{\varphi} &= \alpha_1 \boldsymbol{\varphi}^T \mathbf{M} \boldsymbol{\varphi} + \alpha_2 \boldsymbol{\varphi}^T \mathbf{K} \boldsymbol{\varphi} \\ &= \alpha_1 \mathbf{I} + \alpha_2 \boldsymbol{\Omega}^2\end{aligned}$$