

УДК 539.3

В.А. Баженов, д-р техн. наук
І.І. Солодей, д-р техн. наук
М.О. Вабіщевич, канд. техн. наук
А.О. Ярош

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ДЕМПФЕРНОГО ПРИСТРОЮ З ПОЗДОВЖНЬОЮ ТРИЩИНОЮ НА ОСНОВІ НМСЕ

Досліджено особливості динамічного деформування демпферного пристрою з поздовжньою тріщиною при її апроксимації спеціальними скінченими елементами та застосуванням методик обчислення динамічних параметрів механіки руйнування на основі НМСЕ.

Вступ

Питання обмеження рівня вібрацій шляхом використання віброізолюючих пристроїв або різного роду віброгасителів тісно пов'язані з динамічним розрахунком. Найбільш розповсюдженою проблемою таких пристроїв, що призводить не тільки до зміни їх проектних характеристик, але і до виходу з ладу, є утворення та розповсюдження тріщин. Як наслідок виникає необхідність обчислення динамічних параметрів механіки руйнування для запобігання виникнення загрози появи аварійних ситуацій.

За геометричними характеристиками значну кількість означених конструкцій можна класифікувати як призматичні просторові тіла з довільною формою та структурою поперечного перерізу. На прикладі демпферного пристрою, що являє собою коробчасту конструкцію, підсилену двома поздовжніми ребрами (рис. 1), наочно ілюструються переваги використання напіваналітичного методу скінчених елементів при розв'язанні означеного класу задач. Скінченноелемента дискретизація об'єкту виконана на основі прямолінійних призматичних скінчених елементів з апроксимаціями

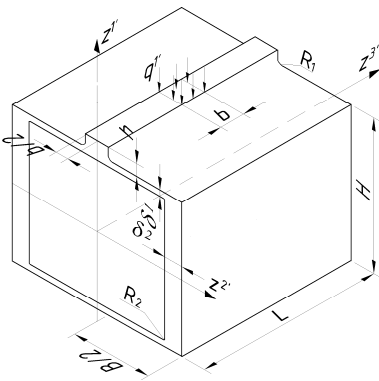


Рис. 1. Демпферний пристрій

невідомих в напрямку x^3 2π - періодичними функціями тригонометричних рядів Фур'є [1]. При вирішенні задачі динамічні коефіцієнти інтенсивності напружень визначались на основі методу реакцій [4]. Для апроксимації поздовжньої тріщини використані спеціальні скінченні елементи з тріщинами, ефективність використання яких була показана в попередніх роботах авторів [5].

1. Дослідження динамічного напружено-деформованого стану демпферного пристрою

Демпферний елемент складається із тонкостінних і стрижневих елементів, об'єднаних галтельними переходами, в області яких реалізується просторовий напружено-деформований стан. Граничні умови на торцях відповідають обпиранню на абсолютно жорстку у своїй площині та гнучку вздовж напрямної діафрагму. Розрахункова схема об'єкта приведена на рис. 1.

Довжина $L=30\delta_1$, висота $H=24\delta_1$, ширина $B=30\delta_1$, радіуси галтельних переходів $R_1=\delta_1$, $R_2=0.25\delta_1$, розміри поперечного перерізу ребер $b=4\delta_1$, $h=2\delta_1$, товщина бокових стінок $\delta_2=3\delta_1$, верхньої кришки та днища δ_1 . Модуль пружності матеріалу конструкції $E=2.1 \times 10^5$ МПа, коефіцієнт $\nu=0.3$, щільність матеріалу $\rho=7.8 \times 10^3$ кг/м³. Зовнішнє навантаження приймається у вигляді миттєво прикладеного імпульсу тиску q в центральній частині $b \times b$ верхнього ребра та залишається постійним на протязі всього інтервалу дослідження.

Фрагменти розбивки для однієї із досліджуваних скінченно-елементних конфігурацій представлені на рис. 2.

Дослідження збіжності результатів розрахунку по максимальним параметрам напруженого стану показало, що достатнім є утримання 5 гармонік (членів ряду Фур'є) та використання часового кроку $\Delta t=10^{-4}$ с.

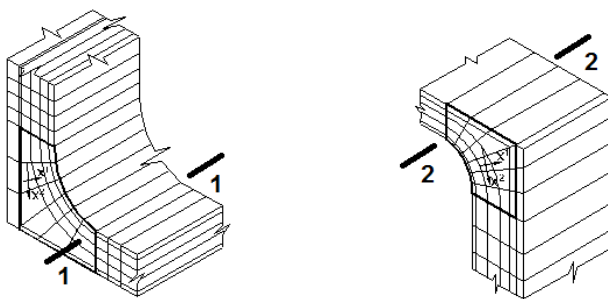


Рис. 2. Скінченноелементна модель

Для виявлення найбільш напружених частин конструкції, на першому етапі розглянуто коливання демпферного пристрою без тріщини. Аналіз еволюції напружено-деформованого стану показав, що в інтервалі часу $t \in [2.1, 2.5] \times 10^{-3} \text{ с}$ при $Z^3 = 0.5L$ досягаються максимальні розтягуючі значення σ^{22} , σ^{33} та σ_i для обох перерізів 1-1 та 2-2. Результати розрахунку, виконаного в пружній постановці, зображені у вигляді визначальних нормованих напружень σ^{22}/q , σ^{33}/q та σ_i/q (рис. 3).

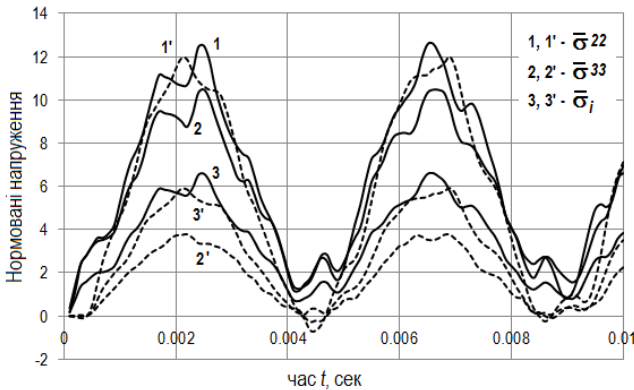


Рис. 3. Напружено-деформований стан тіла без тріщини

Пунктирною лінією позначені графіки, побудовані в перерізах 2-2, суцільною – в перерізі 1-1. Спостерігається практично повна ідентичність як в характері розподілення так і в кількісних значеннях для компоненти σ^{22} тензора напружень та σ_i . Однак компоненти σ^{33} приблизно у 2.5 рази менші для перерізу 2-2, що пояснюється впливом примикаючої жорсткої опорної стінки (рис. 1).

Розподіл напружень вздовж координати Z^3 конструкції для моментів часу $t = 2.5 \times 10^{-3} \text{ с}$ (переріз 1-1) і $t = 2.1 \times 10^{-3} \text{ с}$ (переріз 2-2), коли вони досягають своїх максимальних значень, показано на рис. 4.

Деформована схема та ізолінії нормованих напружень σ^{22}/q ($t = 2.5 \times 10^{-3} \text{ с}$, $Z^3 = 0.5L$) представлені на рис. 5 та 6.

Як можна було очікувати, зони максимальних стискаючих напружень знаходяться на внутрішній частині галтельних переходів (області А і В), які виконують роль концентраторів. Максимальні розтягуючі напруження розташовані у протилежних шарах матеріалу верхньої кришки (області С

і D). Виходячи з проведеного аналізу можна припустити, що області С і D є найбільш ймовірними місцями виникнення тріщин в умовах багаторазового динамічного навантаження.

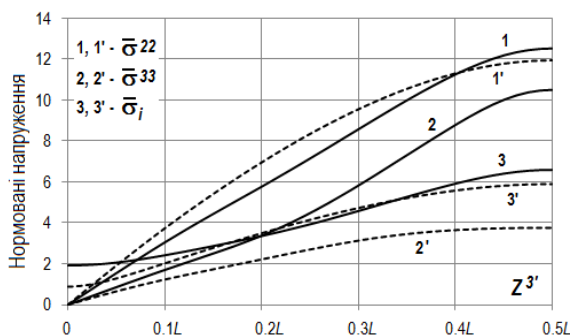


Рис. 4. Розподіл напружень вздовж довжини конструкції

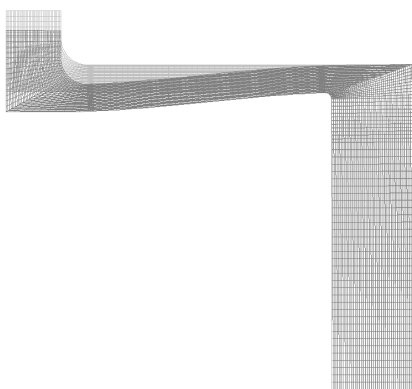


Рис. 5. Деформована схема

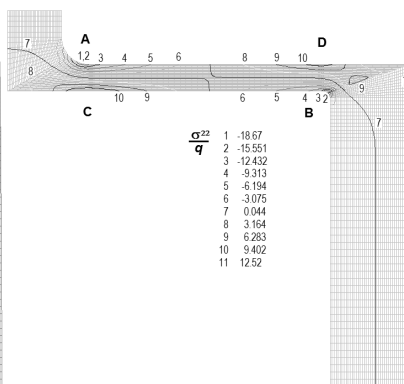


Рис. 6. Ізолінії напружень

2. Аналіз параметрів механіки руйнування

Розглянемо модель із тріщиною довжиною $l_{cr} = 0.25\delta_1$, яка розташована в області С (рис. 7).

Спостерігається характерний для привершинної області розподіл інтенсивності напружень. Ізолінії показані для моменту часу, коли напруження досягають своїх максимальних значень.

Обчислення КІН проводилося двома методами: прямим (ліній) та на основі енергетичного підходу (метод реакцій, марки). Результати показані на рис. 8 у вигляді нормованих значень динамічного КІН K_{ζ}/q ($\zeta = I, II$).

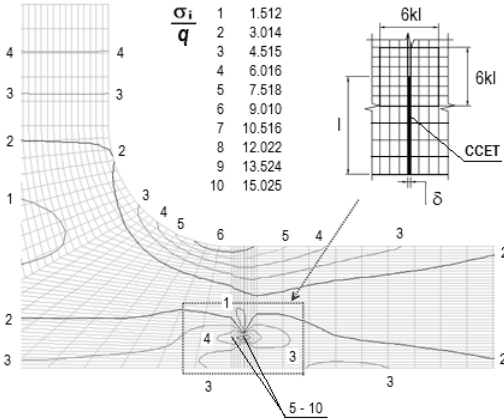


Рис. 7. Модель із тріщиною

Коефіцієнт інтенсивності напружень другого роду K_{II} (пунктирна лінія, квадрати) складає приблизно 10÷12% від K_I (суцільні лінія, кружки).

Виходячи з відомої формули для руйнування змішаного типу, при $K_I \neq 0$ і $K_{II} \neq 0$ умова росту тріщини набуває вигляду:

$$K_{Ic} \geq \tilde{K}, \text{ де } \tilde{K} = \sqrt{K_I^2 + 1.78K_{II}^2}.$$

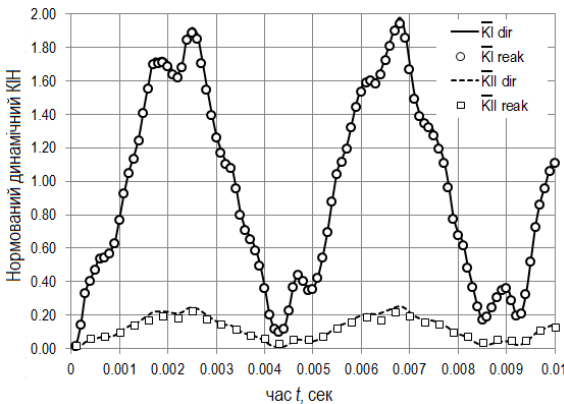


Рис. 8. Еволюція динамічного КІН

На рис. 9 показано розподіл динамічного КІН \bar{K} вздовж напрямку Z^3 в момент часу $t=2.5 \times 10^{-3}$ с для двох довжин тріщин $l_{cr}=0.25\delta_1$ (суцільна лінія) та $l_{cr}=0.5\delta_1$ (пунктир).

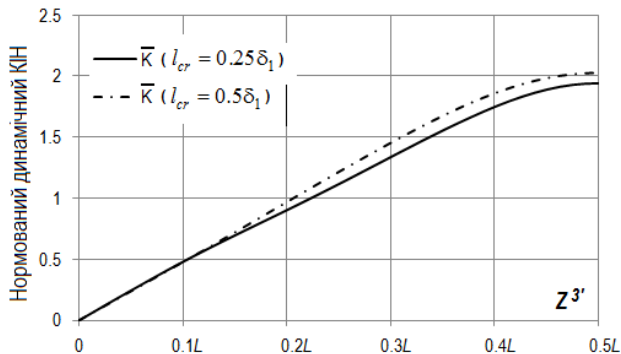


Рис. 9. Розподіл ДКІН вздовж направляючої

Висновки

Таким чином, на прикладі дослідження динамічного деформування демпферного пристрою показана зручність та ефективність використання розробленого підходу до апроксимації просторових призматичних тіл з тріщинами та алгоритмів обчислення динамічних параметрів механіки руйнування на основі НМСЕ.

За результатами розрахунку визначені особливості еволюції у часі динамічних КІН I і II-го роду та розподіл значень узагальненого КІН вздовж направляючої для різних довжин тріщин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Баженов В.А., Вабіщевич М.О., Гуляр О.І., Солодей І.І.* Особливості обчислення коефіцієнтів інтенсивності напружень при динамічному навантаженні // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-техн. збірник. - К.:КНУБА, Вип.82, 2008.-с.39-47.
2. *Баженов В.А., Гуляр О.І., Пискунов С.О., Сахаров О.С.* Напіваналітичний метод скінченних елементів в задачах руйнування просторових тіл. Монографія. – КНУБА, 2005. – 298 с.
3. *Баженов В.А., Гуляр А.И., Сахаров А.С., Топор А.Г.* Полуаналитический метод конечных элементов в механике деформируемых тел. - Киев: Випол, 1993, 376 с.
4. *Солодей І.І., Вабіщевич М.О., Гуляр О.І., Сахаров О.С.* Обчислення коефіцієнта інтенсивності напружень в нестационарних задачах динаміки просторових тіл на основі енергетичного підходу // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-техн. збірник – К.:КНУБА, Вип.83, 2009.-с.93-109.

5. *Солодей І.І., Вабищевич М.О., Гуляр О.І.* Використання спеціальних скінченних елементів з тріщиною в задачах механіки руйнування при нестационарних динамічних навантаженнях // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-техн. збірник – К.:КНУБА, Вип.84, 2009.-с.49-64.

Стаття надійшла до редакції 05.08.2013 р.

Bazhenov V.A., Solodei I.I., Vabischevich M.O., Yarosh A.O.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЕМПФЕРНОГО УСТРОЙСТВА С ПРОДОЛЬНОЙ ТРЕЩИНОЙ НА ОСНОВЕ ПМКЭ

Исследованы особенности динамического деформирования демпферного устройства с продольной трещиной при ее аппроксимации специальными конечными элементами и применением методик вычисления динамических параметров механики разрушения на основе ПМКЭ.

Bazhenov V.A., Solodei I.I., Vabischevich M.O., Yarosh A.O.

DYNAMIC DEFORMATION RESEARCH OF VIBRATION DAMPER WITH LONGITUDINAL CRACK BASED ON SAFEM

The features of dynamic strain damping device with longitudinal cracks in its special finite element approximation and the use of methods calculate the dynamic parameters of fracture mechanics based on SAFEM was investigated.