

УДК 624.042.7

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЙ НА СТАЛЕВІ РАМНІ КОНСТРУКЦІЇ: МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Давидов І. І.¹, к. т. н., доц., Удовиченко Є. О., студ.
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
¹davydov.ihor@pgasa.dp.ua

Постановка проблеми. Одним із факторів комфорту будівель є зниження впливу вібрації [1]. Існують чинники динамічних макро впливів, які можуть призвести до порушення вимог першої групи граничних станів несучих конструкцій будівель. Такі, як вплив вітру, сейсмічних коливань, промислових вібрацій, аварій. Але існують і динамічні чинники мікро дії. Відомо, що будь-який рівень вібрації може вплинути на конструктивні системи, інженерне обладнання, людський організм.

Це відображається у нормах проектування будівель і споруд, як обмеження не тільки амплітуд, віброприскорень, віброшвидкостей, і вібропереміщень вимушених коливань, також і періодів нижчих форм коливань.

У теперішній час, застосування для розрахунків конструкцій потужних обчислюваних комплексів дозволяє моделювати макро вплив на споруди, аналізувати динамічну реакцію. При цьому прямий динамічний аналіз все ще залишається досить трудомісткою процедурою. Тому частіше виконують розрахунки у квазістатичній постановці з використанням коефіцієнтів динамічності.

Практично не виконується аналіз проблем мікро впливів вібрації на конструкції, інженерні системи та людський організм.

Мета дослідження. Основним завданням є розвиток методики, уточненого динамічного моделювання [2; 3], що дозволяють врахувати макро та мікро вплив вібрації на механічні системи. Для цього необхідно підвищувати точність моделювання, ефектів взаємодії динамічних навантажень і конструктивної системи, різних типів тертя та нелінійних факторів роботи цієї системи.

Основні результати. Для аналізу коливань (вібрації) конструктивні системи представляються як дискретні багато масові моделі, які описані за допомогою системи звичайних диференціальних рівнянь [4]. Ці рівняння формуються відповідно до принципу Даламбера, який враховує всі сили, які діють на кожен масовий елемент системи, та їх взаємодію між собою. Наведемо приклад моделювання поздовжніх коливань багато масової системи.

$$\begin{aligned}
 m_1\ddot{y}_1 + r_1(y_1 - y_2) + \dots + \beta_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + \dots &= P_1(t); \\
 m_2\ddot{y}_2 + r_1(y_2 - y_1) + r_2(y_2 - y_3) + \dots + \beta_1(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + \beta_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_3) + \dots &= P_2(t); \\
 \dots &\dots \\
 m_n\ddot{y}_n + r_n(y_n - \eta_n(t)) + \dots + \beta(\dot{y}_n - \dot{\eta}_n(t)) + \dots + H_n \text{sign}(\dot{y}_n - \dot{\eta}_n(t)) &= P_n(t),
 \end{aligned}$$

де m_i – зосереджені маси даної системи; r_i – коефіцієнт пружності зв'язків між цими масами; β_i , H_i – коефіцієнти демпфірування (в'язкого або сухого тертя) різних частин системи; y_i – узагальнені координати системи; \dot{y}_i та \ddot{y}_i – відповідно перші і другі похідні за часом від узагальнених координат; $P_i(t)$ – функції, що описують залежність вимушених коливань, яка діє на ділянки конструктивної системи у часі; $\eta_n(t)$ – функції, що описують кінематичне (наприклад, сейсмічне) збудження, що прикладено до різних ділянок системи.

Такий вид запису рівнянь руху, дає можливість моделювання нелінійних дисипативних і пружних характеристик, силового і кінематичного впливу. При

вирішенні задачі були застосовані різні методи чисельного інтегрування диференціальних рівнянь руху в системах MATLAB і Wolfram Mathematica.

Для тестування прийнятої методики і дослідження ефективності порівнювалися результати, отримані з комп'ютерної та фізичної моделей. У дослідженні розглядалася однопролітна П-подібна сталевая рама з висотою і прольотом 0,6 м і перетином $4 \times 0,6$ см. Під час тестування порівнювалися зусилля, переміщення, а також частоти власних коливань.

На рисунку наведений приклад аналізу резонансних режимів роботи рами.

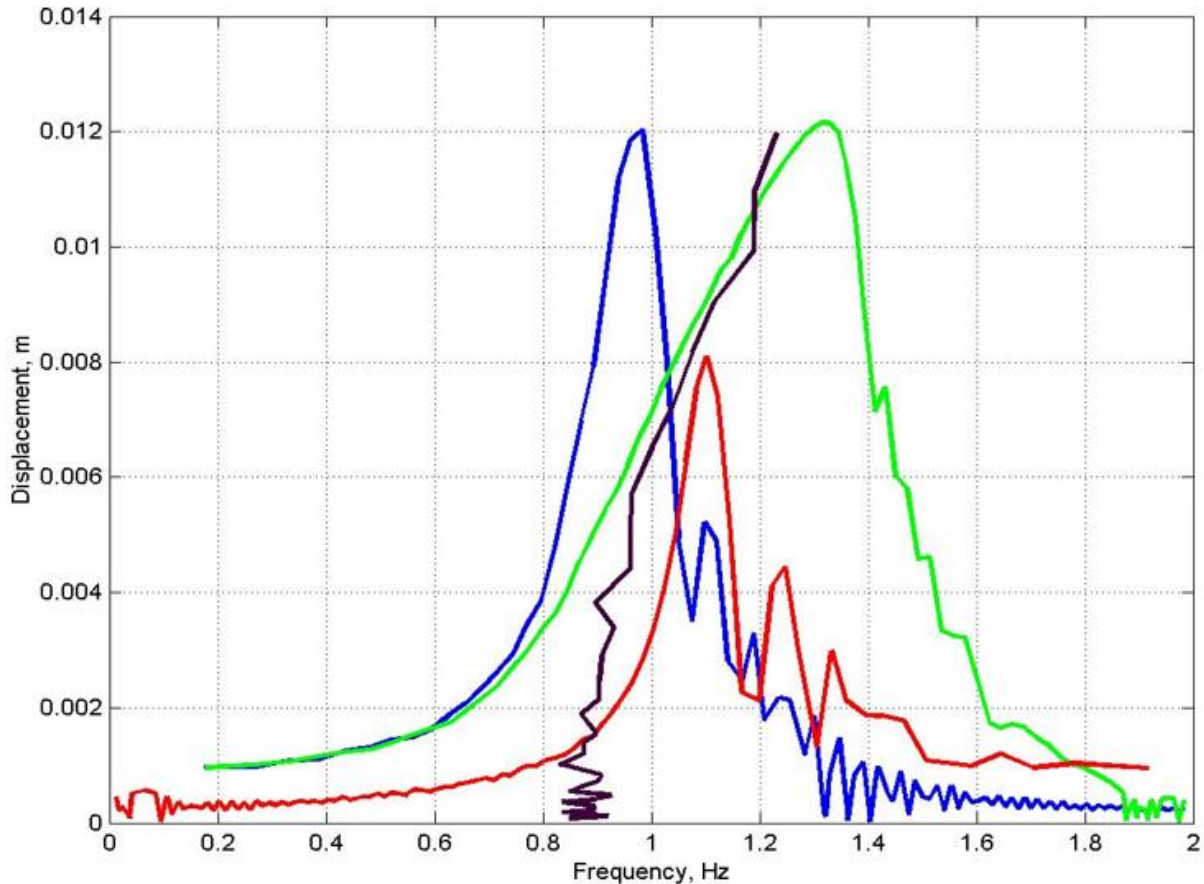


Рис. Аналіз резонансних режимів роботи рами

Для проведення лабораторного експерименту на електродинамічному вібраційному стенді ЕДВС-10М була використана наступна схема.

Підготовка обладнання та перевірка справності блоків вимірювання прискорень, генератора синусоїдальних коливань, блоку підсилювача, вібровимірювальної апаратури типу SDM-132 та п'яти каналного самопишучого приладу.

Підготовка конструкції сталевий рами, приєднання до опорної конструкції рами.

Встановлення експериментальної системи: з'єднання вібратора зі штоком та конструкцією сталевий рами. Підключення п'єзоелектричний датчик KD-21 до блоку вимірювань прискорень.

Налаштування параметрів: встановлення потрібної частоти коливань на генераторі синусоїдальних коливань. Налаштування підсилювача для оптимального підсилення сигналу від п'єзоелектричного датчика.

Запуск експерименту: увімкнути генератор синусоїдальних коливань та почати реєстрацію даних з датчика прискорення. Запустити вібраційний стенд та зафіксувати

дані про прискорення та інші вимірювання на п'яти каналному само пишучому приладі.

Аналіз результатів: оцінити амплітуду, частоту та інші параметри коливань зі збережених даних. Провести порівняння отриманих результатів з теоретичними значеннями та здійснити відповідні висновки щодо ефективності електродинамічного вібраційного стенду та його використання у практиці.

При горизонтальному кінематичному збуренні рами (переміщення підстави з амплітудою 0,37 мм) на резонансній частоті 1 Гц переміщення середнього перетину стійки становили 12 мм, а переміщення ригеля 94 мм. Що добре узгоджується з результатами теоретичного розрахунку за методикою, що розглядається.

Був також виконаний аналіз ефективності застосування динамічного гасника коливань (ДГК) і фрикційних діагональних зв'язків. В якості ДГК була застосована сталеві смуга перерізом $3 \times 0,4$ см довжиною 0,66 м з масами на кінцях. В якості фрикційних діагональних зв'язків застосовані дві смуги з фіксацією двома болтами.

Після установки ДГК горизонтальні переміщення середнього перетину стійки зменшилися у 2,5 рази, а ригеля зменшилися в 5 разів. При влаштуванні фрикційних зв'язків реакція стійки і ригеля як амплітуда переміщень зменшились в 5 і 12,5 разів.

Висновки. Рекомендації щодо створення дискретних динамічних моделей були узагальнені з метою забезпечення однотипності у процесі аналізу різних конструкцій та їх вузлів. Для цього були розроблені стандартні процедури та методи створення моделей, які включають в себе визначення диференціальних рівнянь руху, врахування параметрів матеріалів та геометрії конструкцій, а також встановлення початкових та граничних умов.

Для перевірки ефективності розробленої методики було проведено тестування на прикладі сталеві рами. Це включало в себе виконання динамічних розрахунків, аналіз отриманих результатів та порівняння їх з експериментальними даними або аналітичними рішеннями. Таке тестування дозволило визначити ефективність та точність застосованої методики.

У доповіді будуть запропонована методика динамічного моделювання, що дозволяє виконувати аналіз проблем мікро впливів вібрацій на конструкції, інженерні системи та людський організм. Обговорюються особливості моделювання згинальних та крутильних характеристик багато масових систем, врахування взаємодії конструкцій з різними видами динамічних навантажень.

Список використаних джерел

1. Казакевич М. І., Кулябко В. В. Введення у віброекологію будівель та споруд. Дніпропетровськ : ПДАБА, 1996. 200 с.
2. Kulyabko V. V., Davydov I. I. Laboratory of dynamics and diagnostics of constructions Archives of Civil Engineering. *Polish Academy of Sciences, Institute of Fundamental Technological Research*. Vol. 49, № 3. Warsaw, 2003. Pp. 25–50.
3. Kulyabko V., Davydov I. Simulation of dynamic responses of structures on the elastic-dissipate foundation at operation wind loads. *2nd East European Conf. on Wind Eng.* Vol. 2. Prague, 1998. Pp. 423–428.
4. Пановко Я. Г. Введення у теорію механічних коливань. Вид. 3-е. 1991. 256 с.