

ANALYSIS OF VIBRATIONS AND STRUCTURAL SOUND IN BUILDING STRUCTURES

M.H.Inogamova

Hydraulic engineer inshootlar, zamin va poidevorlar departments assistants

DN Galieva

Assistant of the Department of Hydraulic Structures, Lands and Foundations

Annotation: The article provides an analysis of vibrations and structural sound that arise and propagate in buildings. In modern conditions, this analysis is a necessary requirement for high-quality structural and mechanical design and construction of buildings in order to ensure acoustic comfort and integrity, reliability and fault tolerance of structures and equipment.

Keywords: vibration; structural sound; noise; own frequency; design; building

Возникновение и распространение структурного звука в зданиях является постоянной проблемой в акустике. Различные методы снижения уровней шума и вибраций, такие как пассивный, активный или комбинация двух методов снижения, были разработаны в различных областях. Среди этих методов традиционные методы пассивного шумоподавления широко используются в промышленности и различных производствах. Методы пассивного снижения обычно используют звукопоглощающие или вибропоглощающие материалы для достижения цели снижения шума. Они оказались очень эффективными на средних и высоких частотах. Однако, в низкочастотном диапазоне пассивный метод снижения шума часто делает решение задачи снижения шума оборудования громоздким и неэффективным. Например, звукопоглощающие материалы не являются эффективным средством ослабления уровней шума на низких частотах из-за требования значительной толщины материала для поглощения больших длин акустических волн. Точно так же вибропоглощающие (демпфирующие) материалы обычно неэффективны в ослаблении низкочастотных колебаний, а, следовательно, уменьшения излучения звука. Требуется толстые и массивные вязкие материалы, что опять-таки представляет проблему практичности при применении этого традиционного метода снижения в реальных ситуациях. Таким образом, эффективный подход к снижению шума и вибраций в низкочастотном диапазоне представляет собой сложную задачу для специалистов в области снижения шума [1, 2].

Анализ вибраций - важный этап проектирования механических систем, подверженных динамическим нагрузкам. Вибрационный анализ = это сложный процесс, который является задачей для многочисленных исследований.

Цель данной работы - представить некоторые сведения, а также предложить краткое описание вибрационного анализа методом конечных элементов (МКЭ).

Хорошо известно, что уравнение движения линейной системы со множеством степеней свободы имеет следующий вид:

$$M\ddot{w} + C\dot{w} + Kw = F \quad (1)$$

где M , C и K - соответственно матрицы массы, демпфирования и жесткости;

w и F - векторы смещения и внешнего возбуждения.

В условиях свободных колебаний собственные частоты и формы колебаний системы со множеством степеней свободы определяются решением задачи собственных значений

$$\left[K - \omega^2 M \right] \cdot \Phi = 0$$

(2)

где ω - собственная частота колебаний;

Φ - форма колебаний конструкции для соответствующей собственной частоты.

Проблемы вибрации простых структур (таких, как системы масса – пружина, однородные балки Эйлера – Бернулли) могут быть решены на основе аналитических подходов. Используя аналитические подходы, можно найти решение замкнутой формы свободных колебаний (вибраций) при различных граничных условиях [2, 4].

Например, рассмотрим систему с тремя массами и пружиной без демпфирования, как показано на рисунок 1.

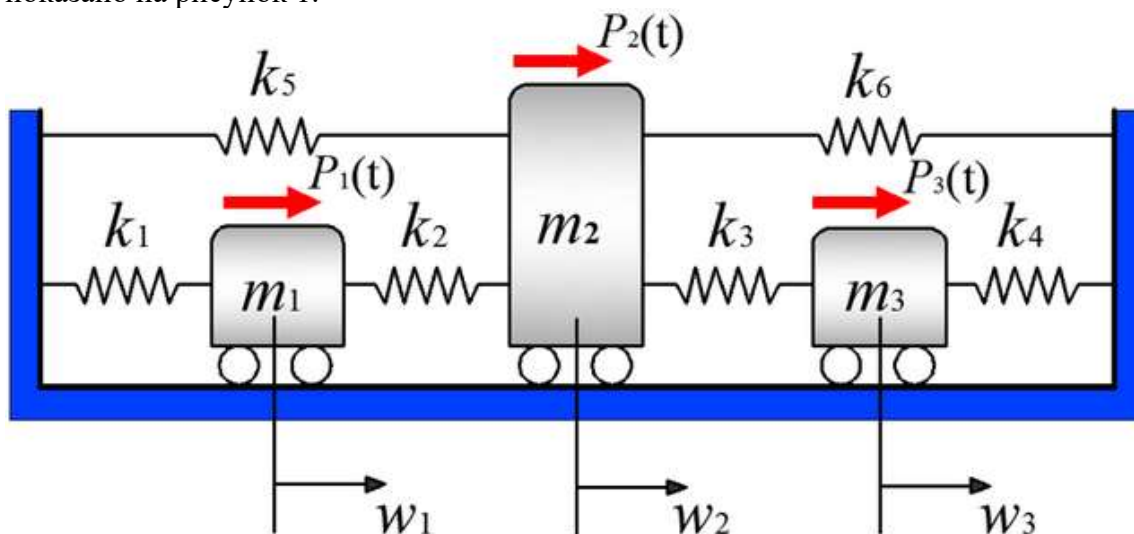


Рисунок 1. Трехмассовая пружинная система

Согласно методу Ньютона – Эйлера или Лагранжа, уравнения движения этих масс можно выразить как

$$M \frac{d^2 w}{dt^2} + K w = F$$

(3)

где M и K - диагональные и симметричные матрицы соответственно

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}, \quad K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_1 + k_2 + k_5 + k_6 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

и векторы w и F задаются как

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}$$

(5)

Подставляя выражение (5) в уравнение (2), могут быть определены собственные частоты и соответствующие формы мод.

Однако, если геометрическая форма конструкции является сложной, аналитические методы становятся неосуществимыми, и для решения задачи необходимо использовать численные методы. Метод конечных элементов (МКЭ) предлагает альтернативный подход к формулированию системных уравнений, описывающих структурный отклик. МКЭ - это численный метод, который можно использовать для аппроксимации структурных динамических характеристик вибрирующих механических систем.

Основное понятие в физической интерпретации МКЭ - это разделение сложной механической системы на непересекающиеся компоненты простой геометрии, называемые конечными элементами, процесс, который известен как дискретизация континуума. Реакция каждого элемента выражается через конечное число степеней свободы, характеризуется как значение неизвестных функций в наборе узловых точек. Затем считается реакция исходной системы - аппроксимированной реакцией дискретной модели, полученной путем соединения или сборки совокупности всех элементов. В конце, граничные условия вводятся путем установки узловых смещений на известные значения.

Основные этапы МКЭ могут быть описаны следующим образом:

1. Сделаны некоторые разумные предположения для упрощения задачи; «реальная» задача идеализируется путем идеализации условий поддержки или путем подавления деталей (таких, как маленькие отверстия и желобки), которые незначительны с точки зрения анализа, но усложняют вопросы во время генерации сетки.
2. Геометрия делится на несколько дискретных элементов, соединенных в дискретных точках, называемых «узлами».
3. Следующим шагом является выбор типа элемента. Программное обеспечение предлагает множество различных типов элементов. Результаты могут сильно отличаться от одного типа к другому. Это связано с теорией, скрытой за этими элементами.
4. Уравнения элементов для каждого элемента в сетке МКЭ собраны в набор глобальных уравнений, которые моделируют свойства всей системы.
5. В конце, налагаются граничные условия. Решение не может быть получено без применения граничных условий [2, 3].

Используя энергетический подход, В. Вестфаль предложил метод расчета уровней вибраций применительно к строительным конструкциям [4]. Конструкция здания рассматривается им как совокупность обособленных элементов в виде плоских однородных панелей (плиты перекрытий, стеновые панели). Контур каждой панели определяется пересечением ее с примыкающими панелями. Элементы системы характеризуются средней плотностью энергии, то есть количеством аккумулированной в каждом из них звуковой энергии. Для практической реализации данной схемы

необходимо знать распределение энергии в панели по площади и по отдельным формам собственных колебаний. В. Вестфалем рассматривается распространение только изгибных волн, вибрационное поле на каждой панели предполагается диффузным. Условие энергетического баланса для отдельных панелей определяет плотности энергии в них в виде системы алгебраических уравнений и выражает равенство звуковой энергии, поступающей от примыкающих панелей и внешних источников, и энергии, теряемой рассматриваемой панелью. Таким образом, энергия, передаваемая в конструкцию, расходуется на внутреннее трение, потери на границах элемента, то есть уход в примыкающие элементы и излучение

$$\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i + \eta_i \right) \cdot \varepsilon_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \cdot \varepsilon_j + \sum_{k=0}^m W_{ik} \quad (6)$$

где / - коэффициент прохождения изгибной волны из и – той панели в ж – тую;

/ - коэффициент, характеризующий потери на внутреннее трение;

/ - плотность энергии соответственно в и – той и ж – той панелях;

/ - мощность источника колебаний [4].

На основе энергетического баланса путем использования МКЕ нами изучен процесс распространения вибраций от оборудования, установленного на конструкции здания и дальнейшего распространения в виде структурного звука по корпусу здания.

В частности:

- на основе рассмотрения интерференционной картины прохождения звукового колебания по конструкциям показано, что для практических целей достаточно рассматривать резонансный режим колебаний, как самый неблагоприятный случай. Получены выражения для определения уравнений колебаний стержней и пластин на резонансах с учетом потерь энергии на внутреннее трение и уходом ее в примыкающие конструкции, уточненное решение задачи прохождения волн через различные соединения элементов строительных конструкций;

- по аналогии прохождения волны через границу сред со стереомеханическим ударом рассмотрена работа многокаскадных амортизирующих систем в широком диапазоне частот;

- учет вращательного движения в аналогии стереомеханического удара позволил уточнить решение задачи прохождения звука через угловое соединение элементов и виброзадерживающие массы.

Библиографический список:

1. Ковригин С.Д. Борьба с шумами в гражданских зданиях (ударные и структурные шумы) / С.Д. Ковригин, А.В. Захаров, А.И. Герасимов. – М.: Стройиздат, 1969. – 328 с.
2. Фазилов А.Р. Исследование распространения и изоляции звуковой вибрации в зданиях: Монография [Под ред. д.т.н. А.А. Ходжибоева] – Душанбе: ГУП «НИИСА», Издательский центр», 2018. – 220 с.
3. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
4. Wэстпхал W. Аусбреитунг вон Кёрперсчалл ин Гебäуден // «Акустисче Беихефте», 1957. – Хефт. – 1.6.335-348.