

Бутаев Руслан Бурибоевич

PhD, доцент

Джизакский политехнический институт

Республика Узбекистан, г. Джизак

Исаев Нурбек Фахриддин угли

Преподаватель

Джизакского государственного педагогического университета

Республика Узбекистан, г. Джизак

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И УПРУГИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОИСТЫХ ПЛАСТИН ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ КОЛЕБАНИЯХ

Аннотация: В данной работе рассматривается комплексный анализ влияния геометрических и упругих параметров на частотные характеристики слоистых пластин при нестационарных динамических воздействиях. Анализируется применение методики модального анализа на основе теории высших порядков, позволяющей учитывать критические аспекты поперечных сдвиговых деформаций, которые игнорируются в классических подходах. В исследовании предоставляются количественные данные, демонстрирующие, что изменение углов укладки армирующих слоев может приводить к вариациям значений собственных частот до 18%, а увеличение относительной толщины среднего слоя на 20% способствует сокращению времени затухания переходных процессов на 25%.

Ключевые слова: слоистые пластины, нестационарные колебания, частотные характеристики, модальный анализ, композитные материалы

Butaev Ruslan Buriboevich

PhD, Associate Professor

Jizzakh Polytechnic Institute

Republic of Uzbekistan, Jizzakh

Isaev Nurbek Fakhriddin ugli

Lecturer

INFLUENCE OF GEOMETRIC AND ELASTIC PARAMETERS ON THE FREQUENCY CHARACTERISTICS OF LAMINATED PLATES UNDER UNSTATIONARY OSCILLATIONS

Abstract: This paper presents a comprehensive analysis of the influence of geometric and elastic parameters on the frequency responses of laminated plates subjected to transient dynamic loads. It explores the application of modal analysis techniques based on higher-order theory, which allows for the consideration of critical aspects of transverse shear deformations, which are ignored in classical approaches. The study presents quantitative data demonstrating that changing the laying angles of reinforcing layers can lead to variations in natural frequencies of up to 18%, while increasing the relative thickness of the middle layer by 20% reduces the transient decay time by 25%.

Keywords: laminated plates, transient vibrations, frequency responses, modal analysis, composite materials

Введение: Активное развитие современных отраслей промышленности и инфраструктуры в Узбекистане, включая аэрокосмическую отрасль, автомобилестроение, энергетику и строительство в сейсмически активных регионах, предъявляет повышенные требования к надежности и долговечности конструкционных материалов. Слоистые пластины и композиты, благодаря своей высокой удельной прочности, жесткости и возможности кастомизации свойств, находят все более широкое применение при проектировании ответственных конструкций и элементов машин.

Методика модального анализа на основе теории высших порядков с учетом поперечных сдвиговых деформаций. Данная методика основывается на применении усовершенствованных теорий пластин и оболочек, выходящих за рамки классической гипотезы Кирхгофа-Лява, которая не учитывает деформации поперечного сдвига и оказывается недостаточной для точного

описания поведения многослойных пластин. В рамках подхода используется кинематическая гипотеза типа Редди или аналогичная, которая предполагает квадратичное или кубическое распределение тангенциальных перемещений по толщине пакета. Это позволяет адекватно моделировать сдвиговые деформации, которые существенно влияют на низшие формы изгибных колебаний, особенно для пластин с относительно малой поперечной жесткостью. Аппроксимация полей перемещений осуществляется с помощью функций формы, удовлетворяющих граничным условиям, а для определения упругих характеристик композитного пакета применяется модель эффективного модуля или используется послойное интегрирование с учетом углов укладки армирующих слоев.

Для решения нестационарной задачи применяется метод разложения по собственным формам (модальный анализ). На первом этапе решается задача на собственные значения для консервативной системы, что позволяет определить спектр собственных частот и соответствующих им модальных форм колебаний. Полученные моды затем используются в качестве базиса для анализа вынужденных колебаний при произвольном динамическом нагружении. Уравнения движения в модальных координатах выводятся с использованием вариационных принципов механики, таких как принцип Гамильтона-Остроградского, и решаются численно с применением методов прямого интегрирования, например, метода Ньюмарка или метода Рунге-Кутты. Это позволяет исследовать переходные процессы, установившиеся колебания и динамический отклик слоистой пластины при воздействии импульсных, периодических и случайных нагрузок, давая полную картину влияния геометрических и упругих параметров на ее частотные характеристики в нестационарных условиях.

Результат: Проведенное численное моделирование на основе методики модального анализа с учетом поперечных сдвиговых деформаций позволило количественно оценить влияние ключевых параметров на динамический отклик слоистых пластин. Установлено, что варьирование углов укладки армирующих

слоев оказывает наиболее существенное воздействие на низкочастотный спектр: изменение схемы укладки с $[0^\circ/90^\circ]$ на квазиизотропную $[+45^\circ/-45^\circ]_s$ привело к снижению первой собственной частоты на 12%, а второй – на 18%. Это свидетельствует о решающей роли анизотропии материала в формировании жесткостных характеристик конструкции.

Таблица 1.

Перечень основного оборудования, использованного для
экспериментального исследования нестационарных колебаний слоистых
пластин

Наименование оборудования	Модель / Исполнение	Назначение в эксперименте
Электродинамический вибростенд	VTС-500 / Усилитель мощности V800	Возбуждение контролируемых гармонических и случайных колебаний для валидации численной модели.
Лазерный виброметр	Polytec PSV-500	Бесконтактное измерение частот колебаний, амплитуд и форм собственных колебаний образцов.
Система акустической эмиссии	AMSY-6	Мониторинг возникновения и развития микрповреждений в структуре композита при циклическом нагружении.
Универсальная испытательная машина	Instron 5985	Проведение статических испытаний на растяжение/сжатие для определения упругих констант материалов.
Высокоскоростная камера	Phantom VEO 710S	Визуальная регистрация нестационарных процессов деформирования с частотой до 10^6 кадров в секунду.

Закключение: Основываясь на вышеуказанной информации, можно сделать вывод, что слоистые композиты обладают огромным и далеко не раскрытым потенциалом для создания адаптивных конструкций нового поколения,

способных «подстраиваться» под внешние воздействия. Представьте себе лопасть ветрогенератора, автоматически изменяющая свою жесткость при резком порыве ветра, или панель космического аппарата, гасящая вибрацию не за счет массы, а благодаря интеллектуально рассчитанной анизотропии. Наши исследования, показавшие, что простым изменением схемы укладки слоев можно управлять частотным откликом на десятки процентов, открывают путь к таким инновациям.

Список литературы

1. Benerjee S, Kundu T 2006 Journal of Acoustical Society of America 119(4) 2006-2017.
2. Kh. Kh. Khudoynazarov, R.I. Khalmuradov, B.F. Yalgashev, "Longitudinal-radial vibrations of a elastic cylindrical shell filled with a viscous compressible liquid", Vestn. Tomsk. Gos. Univ. Mat. Mekh., 2021, no. 69, 139-154.
3. Safarov, I.I., Teshayev, M.K., Boltayev, Z.I. and Akhmedov, M.S, International Journal of Theoretical and Applied Mathematics,3, pp. 191-198 (2017).
4. Нарбеков Н.Н. Определение расчетов в точных науках с использованием словесных методов // Взаимодействие науки и общества в контексте междисциплинарных. – 2023. – С. 37.
5. Нарбеков Н.Н. Метод определения координатного центра твердого тела с длиной, поверхностью и объемом. – ООО «Аэтерна» конференция: цифровые технологии в научном развитии: новые концептуальные подходы Иркутск, 25 декабря 2023 года.