

# МЭДІБАЙҰЛЫ ЖҰМАБАЙ

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности «6D060300 – Механика»

### АННОТАЦИЯ

#### **Актуальность темы исследования:**

Тема диссертации - исследование механических систем в соединениях стержней, труб и других тонких, слегка изогнутых конструкций. Для заданного набора конкретных частот особое внимание уделяется определению граничных закреплений этих механических систем. Подобные проблемы относятся к проблемам акустической диагностики и представляют научный интерес как в теории, так и на практике.

Повсюду встречаются тонкие стержни и их соединения. Теоретические основы теории стержней заложены А. Клебшем. Важную роль в дальнейшем развитии теории стержней сыграли С. П. Тимошенко, А. И. Лурье, Г. Ю. Джанелидзе, С. Г. Лехницкий, Ю. Н. Работнов и другие. Несмотря на то, что технические теории давно используются в инженерных расчетах, об условиях их использования известно мало, что обеспечивается точностью аппроксимации, актуальностью расчетных моделей для конкретных объектов.

Данная диссертация посвящена изучению малых колебаний свободных стержней от разных частей. В этом случае возникает проблема определения собственных частот и собственных колебаний таких структур. Известно, что собственные частоты зависят не только от исходных геометрических и физических характеристик исследуемой конструкции. На них существенно влияют как граничные закрепления, так и закрепления в узлах между несколькими стержнями. Вопрос создания моделей этого типа также играет важную роль в подобных исследованиях. Выбор производился для элементов тонкого стержня или их фрагментированных частей на заданных собственных частотах. Задача определения способа закрепления границы с набором собственных частот относится к акустической диагностике.

Обычно техники в ремонтном центре определяют деталь, необходимую для ремонта, по шуму двигателя, не открывая двигатель автомобиля. Другими словами, он «слышит» двигатель ушами. Подобные задачи относятся к акустической диагностике и часто используются в различных областях техники.

Тема диссертации напрямую связана с проблемами акустической диагностики, в простейшем случае стоит задача определения того, как фиксируются края стержня по собственным частотам стержня. Эта проблема разделена на две проблемы. Прежде всего, сколько собственных частот нужно,

чтобы найти значение фиксированного края стержня? После определения количества собственных частот необходимо разработать способ закрепления краев стержня. Закрепление стержня можно фиксировать по-разному: свободная опора, свободный конец, эластичное закрепление, жесткое закрепление. Количество собственных частот, необходимых для разных закреплений, может отличаться. В общем случае структура может содержать несколько стержней. В этом случае актуальны проблемы на одном стержне.

**Цель диссертации:** В диссертации исследуются небольшие свободные колебания тонких стержней, состоящих из разных частей. В этом случае важно определить собственные частоты и собственные колебания таких конструкций. Известно, что собственные частоты зависят не только от исходных геометрических и физических характеристик исследуемой конструкции. Определено минимальное количество собственных частот при однозначном восстановлении закрепления границы. Приводится дополнительный пример. Для достижения этой цели в диссертации поставлены следующие исследовательские задачи.

1. Получение простых дифференциальных уравнений, описывающих изгибные, поперечные, крутильные колебания тонкого стержня (конструкции, соединенной между собой тонкими стержнями);

2. Разработка алгоритма определения собственной частоты свободных колебаний тонкого стержня (конструкции, соединенной между собой тонкими стержнями);

3. Разработка алгоритма конструктивного восстановления граничного закрепления тонкого стержня на множестве конечных собственных частот.

**Объект исследования** - тонкие стержни, несколько стержней, связанных в узел, мосты, гнутая труба.

**Предмет исследования:** теория стержней, техническая диагностика, теория упругости, теоретическая механика, техническая механика, теория графов. Исследования проводятся в соответствии с наблюдениями, основанными на данных наблюдений в механике деформируемого твердого тела и твердых сред.

**Методы исследования** включают теорию тонких стержней Клебша, оценку Корна, условие Дирихле, условия Кирхгофа, известные уравнения Тимошенко изгиба и поперечных колебаний, обратные задачи Ильгамова, обратную статику для графа стержней.

**Теоретическая и практическая значимость исследования:** приведение трехмерных уравнений теории упругости изгиба стержней к одномерным моделям, в дугах предельного графика продольных колебаний стержней приведены дифференциальные уравнения второго порядка. Тимошенко, теории Лява были расширены. В случае однозначного восстановления закреплений границы определяется минимальное количество собственных частот. Приводится дополнительный пример. Определены величины, влияющие на

критическую скорость ветра на боковой поверхности моста. Найдено внутреннее давление изогнутой трубы и предложен алгоритм определения собственных частот.

**В диссертации получены следующие новые результаты:**

1. Получены простые дифференциальные уравнения, описывающие изгибные, поперечные, крутильные колебания тонкого стержня (конструкции, соединенной между собой тонкими стержнями);
2. Разработан алгоритм определения собственной частоты свободных колебаний тонкого стержня (конструкции, соединенной между собой тонкими стержнями).
3. Разработан алгоритм конструктивного восстановления граничной фиксации тонкого стержня на множестве конечных удельных частот.

Новизна первого пункта состоит в том, что система дифференциальных уравнений изгиба и поперечных колебаний тонкого стержня взаимосвязаны. Из полученных результатов видно, что для некоторых гипотез эффективны уравнения Тимошенко известных изгибных и поперечных колебаний.

Новым аспектом третьего пункта является определение минимального количества собственных частот при однозначном восстановлении граничного закрепления. Приводится дополнительный пример.

Хотя объекты исследования часто встречаются на практике, результаты диссертации носят теоретический характер.

Достоверность результатов диссертации подтверждается сравнением результатов с известными результатами, а также применением хорошо зарекомендовавших себя математических методов. Качество публикаций не вызывает сомнений.

**Практическая ценность** На практике важны стержневые структуры - неоднородные, слабо изогнутые анизотропные стержни, соединенные произвольно. Основная цель задач о тонких стержнях - обобщить систему предельных уравнений на предельный граф.

**Апробация работы** Основные идеи и результаты диссертации представлены и обсуждаются на следующих научных конференциях и семинарах:

научные конференции:

1. Традиционная международная апрельская научная конференция в честь Дня работников науки республики Казахстан (06.04.2018-10.04.2018), с. 80-81, тезис
2. Конференция «XIV Международная научная конференция студентов, магистрантов и молодых ученых ЛОМОНОСОВ–2018» (20.05.2018-21.05.2018), с. 81-82, тезис
3. XVII Всероссийская молодежная школа-конференция «Лобачевские чтения – 2018», Казань, РФ, 23.11.2018-28.11.2018, с.138-140, тезисы докладов, г.Астана, 2018

4. «Международная конференция, Математика, Механика, Прикладные вопросы» Караганда, 12.06.2019-13.06.2019, с.186-187, тезис

**Публикации. Опубликовано 10 работ по теме диссертации, в том числе:** 1 статья опубликована в Scopus Eurasian Mathematical Journal, Q3, CiteScore - 37 процентильном журнале и 1 научном журнале, включенном в базу данных Web of Science; 3 научных статьи в журналах, рекомендованных КОН МОН РК; 2 тезиса опубликованы в материалах зарубежных конференций; 3 тезиса опубликованы в трудах Международной конференции в Казахстане

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и ссылок.

#### **Основное содержание диссертации.**

Во введении к диссертации дается обзор текущей работы, анализируется текущее состояние исследовательской проблемы; обоснована актуальность темы диссертационного исследования; Цель, форма, задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные принципы защиты, сведения об опубликованных работах по теме диссертации и степени ее развития.

Новизна первой главы состоит в том, что в технических теориях изгиба стержней трехмерные уравнения теории упругости сводятся к одномерным моделям. Это сокращение основано на ряде физических предположений. Технические теории успешно используются в инженерных расчетах. Однако вопрос о пригодности одномерных моделей для конкретных объектов до сих пор полностью не изучен. Существует множество методов асимптотического анализа теорий упругих стержней. Эффективность метода часто зависит от выбранной исследователем асимптотической структуры решения. Выбор асимптотической структуры играет ту же роль, что и упомянутые физические гипотезы. Если требуется дополнительная информация о том, как будет работать раствор, полученный путем уменьшения диаметра стержня, то потребуется более глубокое исследование. Кроме того, обычно требуются чрезмерные условия справа. Какие условия справа достаточны (близки к необходимым) для того, чтобы сокращение было действительным? Чтобы узнать сходство справа, нам нужна оценка Корн разницы между фактическим решением и асимптотической анатомией. Оценка Корна позволяет нам получить, что это не подтверждается ни диаметром стержня, ни дифференциальными свойствами правых частей.

Вторая глава пытается ответить на следующий вопрос: как выбрать граничные условия на графике, чтобы собственные значения (частоты) продольных колебаний имели действительное значение? Это связано с тем, что в теории упругости стержней используются только определенные собственные значения (положительные). Поскольку продольные колебания стержней изучаются во второй главе, дифференциальные уравнения второго порядка даются в дугах предельного графа.

Третья глава определяет минимальное количество удельных частот для однозначного восстановления граничной фиксации. Приводится дополнительный пример. Сравнивая три разные формы поперечного сечения моста, максимальная критическая скорость определяется, когда  $A_1 = 1$  поперечное сечение моста овальное. При возникновении неисправности на обоих концах введенных в эксплуатацию трубопроводов рекомендуется ее выявить. Математически найдены собственные частоты горизонтальных колебаний трубы. Находим нули идентификатора с помощью программного пакета Maple. Точность математического обнаружения выше, чем определяемая при прослушивании инженером. Задача идентификации граничных условий также решена на девяти собственных частотах.

В заключение представлены основные результаты и выводы диссертационного исследования.