

**АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ
СООРУЖЕНИЙ им. М.Т. УРАЗБАЕВА**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА
им. М. УЛУГБЕКА**

*На правах рукописи
УДК 539.3*

**ЯЛГАШЕВ
БУРХОН ФАЙЗУЛЛАЕВИЧ**

**НЕСТАЦИОНАРНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КРУГОВОГО
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО СЛОЯ, СОДЕРЖАЩЕГО ВЯЗКУЮ
СЖИМАЕМУЮ ЖИДКОСТЬ**

01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Ташкент - 2010

Работа выполнена на кафедре «Механика»
Самаркандского государственного университета имени Алишера Навои

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Худойназаров Хайрулла Худойназарович

Официальные оппоненты: кандидат физико-математических
наук **Буриев Абдулазиз**
доктор физико-математических **Тожибоевич**
наук, профессор
Мардонов Ботир Мардонович

Ведущая организация: Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта

Защита состоится «_____» _____ 2010 г. в _____ часов на заседании
объединенного специализированного совета К.025.01.02 при Института
механики и сейсмостойкости сооружений и Национального университета
Узбекистана по адресу: 100125, г. Ташкент, Академгородок, ул. Дурмон
йули, 31. Тел.: 262-71-32.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института механики и
сейсмостойкости сооружений Академии Наук Республики Узбекистан.

Автореферат разослан «_____» _____ 2010 г.

Ученый секретарь специализированного
совета кандидат технических наук: **С.Х. Сагдиев**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. Изучение закономерностей происхождения колебательных процессов, а также и распространения волн в различных

сплошных средах и элементах инженерных конструкций, получившее в настоящее время интенсивное развитие, является актуальной проблемой механики деформируемого твердого тела.

С другой стороны, изучение взаимодействия элементов конструкций типа пластин и оболочек, моделирующих работу несущих элементов различных инженерных конструкций, взаимодействующих с газовой, жидкой или твердой деформируемой средой составляет отдельное направление механики, проливающее свет на многие нерешенные прикладные задачи. В частности, к таким элементам относятся цилиндрические слои и оболочки, нестационарное взаимодействие которых с жидкостью, исследованы в настоящей диссертационной работе.

Далеки от решения, актуальные на современном этапе развития механики, задачи усовершенствования моделей нестационарного деформирования материалов и конструкций из них с учетом различных физико механических свойств материалов, влияния взаимодействующей сплошной среды, в частности, различных жидкостей (идеальных, вязких сжимаемых и несжимаемых). Сюда относятся и вопросы взаимодействия цилиндрических полых слоев и оболочек произвольной толщины с вязкими сжимаемыми жидкостями, исследованиям которых посвящены немногочисленные работы.

Поэтому, в этой области остается значительный круг недостаточно исследованных вопросов, сохраняющих свою актуальность: создание точных и эффективных приближенных аналитических и численных методов изучения влияния взаимодействия вязких сжимаемых и несжимаемых жидкостей на напряженно - деформированное состояние элементов конструкций с учётом многообразия граничных условий и сложности внешнего воздействия. В связи с этим актуальной являются, исследованные в настоящей диссертационной работе, задачи нестационарного взаимодействия цилиндрических слоев и оболочек с вязкой сжимаемой жидкостью.

С другой стороны, при решении задач о динамическом взаимодействии деформируемых твердых тел, в частности цилиндрических оболочек, со сплошной средой в качестве основных разрешающих уравнений для оболочки принимаются приближенные уравнения колебания. К ним примыкает и исследованная в диссертации проблема изучения динамического поведения круговых цилиндрических слоев и оболочек, взаимодействующих с вязкой сжимаемой жидкостью на основе уравнений колебаний, выведенных с помощью строгого математического аппарата.

Степень изученности проблемы. К числу нерешенных до настоящего времени или решенных частично задач, включенных в диссертацию, относятся:

- развитие методики вывода уравнений на случай продольно радиальных колебаний цилиндрического слоя произвольной толщины, с учетом содержащейся в его полости вязкой сжимаемой жидкости;

- выводы новых, учитывающих влияния инерции вращения и деформации поперечного сдвига, уравнений продольно-радиальных колебаний кругового цилиндрического упругого слоя, содержащего вязкую сжимаемую жидкость, при внешних динамических нагрузках, действующих на неконтактирующей с вязкой жидкостью, внешней поверхности слоя;
- определение закономерностей динамической реакции содержащейся в полости цилиндрического слоя вязкой сжимаемой жидкости на продольно-радиальные колебания слоя и на напряженно-деформированное состояние гидроупругой системы «цилиндрический слой - вязкая жидкость» в целом;
- предложены замкнутые формулы для всех компонент полей напряжений и перемещений точек произвольного сечения слоя и скоростей частиц жидкости, позволяющие с требуемой точностью вычислить напряженно-деформированное состояние в любой точке рассматриваемой системы по результатам решения задач о продольно-радиальных её колебаниях;
- решения ряда задач о распространении гармонических волн кручения и волновых процессах в цилиндрических слоях, заполненных вязкой сжимаемой жидкостью, а также задач о неустановившихся колебаниях гидроупругой системы «цилиндрический слой - вязкая жидкость», при действии на нее внешних нестационарных нагрузок.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Работа выполнена в Самаркандском государственном университете в рамках комплексной госбюджетной темы № 1.5 «Исследование колебаний и устойчивости дискретно-непрерывных систем, взаимодействующих с деформируемой средой» и гранта Комитета по координации науки и технологий при Кабинете Министров Республики Узбекистан по фундаментальным наукам: «Исследование нестационарных колебаний элементов конструкций с учетом слоистости, переменности толщины и взаимодействия с вязкой жидкостью» (№ гос. рег. ОТ-Ф1-132.).

Цель исследований: разработка методики и вывод общих и приближенных уравнений продольно-радиальных колебаний цилиндрического упругого слоя произвольной толщины с учетом взаимодействующей вязкой сжимаемой жидкости и динамических внешних нагрузок. Вывод формул для компонент тензора напряжений и вектора перемещений дающих возможность определить их в произвольном сечении слоя и точках жидкости. Решение прикладных задач о нестационарных колебаниях цилиндрического слоя с учетом влияния инерции вращения, деформации поперечного сдвига и взаимодействующей вязкой сжимаемой жидкости.

Задачи исследования: нестационарные продольно-радиальные колебания круговых цилиндрических упругих слоев и оболочек, взаимодействующих с содержащихся в их полостях вязкой сжимаемой жидкостью.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований является, круговые цилиндрические слои и оболочки произвольной толщины,

взаимодействующие с вязкой сжимаемой жидкостью. Предметом исследований является изучения нестационарных колебаний цилиндрических слоев и оболочек, с учетом взаимодействующей жидкости; выявление закономерностей реакции жидкости и анализ изменений частот и параметров напряженно-деформированного состояния рассматриваемой гидроупругой системы на основе новых уточненных уравнений колебания.

Методы исследований: методы линейной трехмерной теории упругости, интегральных преобразований Фурье и Лапласа решения дифференциальных уравнений, метод разложения в степенные ряды и другие.

Гипотеза исследований: сплошность рассматриваемых сред, идеальная упругость, линейность зависимостей между напряжениями и перемещениями, малость колебаний точек слоя и частиц жидкости.

Основные положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся результаты исследований, проведенных в целях развития теории и методики динамического расчета напряженно-деформированного состояния круговых цилиндрических упругих слоев и оболочек, взаимодействующих с вязкой сжимаемой жидкостью. Они состоят из методики и вывода уточненных и приближенных уравнений колебания, разработки алгоритмов определения НДС рассматриваемой гидроупругой системы и выявления закономерностей динамической реакции жидкости. Способы применения эффективных аналитических и численных методов динамического расчета и разработки теории колебания цилиндрических слоев и оболочек, находящихся под воздействием динамических нагрузок различной природы, а также распространения этих методов для частных и предельных случаев и их обобщения. Выводы о влиянии вязкой сжимаемой жидкости на колебания взаимодействующего слоя и оболочки, сделанные по результатам решения ряда прикладных задач колебания системы.

Научная новизна результатов исследования заключается в следующем: • развит метод вывода уравнений колебания Петрашеня-Филиппова применительно к цилиндрическому слою, взаимодействующего с вязкой сжимаемой жидкостью;

- предложены новые уточненные и приближенные уравнения колебаний, которые в своих структурах автоматически учитывают влияние инерции вращения и деформации поперечного сдвига. Данные уравнения выведены с учетом действующих на внешней поверхности динамических, переменных по времени и координате, нагрузок, вызывающих продольно-радиальные колебания кругового цилиндрического упругого слоя, содержащего вязкую сжимаемую жидкость;

- определены закономерности динамической реакции, содержащейся в полости цилиндрического слоя, вязкой сжимаемой жидкости на напряжен-

предложены формулы для компонент тензора напряжений и вектора перемещений дающих возможность вычислить их по координатам и времени в произвольном сечении цилиндрического упругого слоя и точках вязкой сжимаемой жидкости;

- создан новый вариант метода динамического расчета круговых цилиндрических упругих слоев и оболочек, содержащих в своих полостях вязкую сжимаемую жидкость, на действие различных внешних динамических нагрузок. Метод заключается в выводе уравнений колебания, как уточненных типа С.П.Тимошенко, так и классических типа Кирхгоффа Лява, в постановках прикладных задач и в разработке алгоритма расчета НДС системы с учетом реакции взаимодействующей жидкости;

- решен ряд задач о распространении гармонических волн кручения, сжатия и волновых процессах в цилиндрических слоях, содержащих вязкую сжимаемую жидкость, а также о неустановившихся колебаниях гидроупругой системы «цилиндрический слой - вязкая жидкость», при действии на нее внешних нестационарных нагрузок.

Достоверность результатов и выводов, представленных в диссертационной работе не вызывают сомнений. Основные результаты исследований получены в рамках трехмерной теории упругости и теории движения вязкой сжимаемой жидкости. Правильность уточненных уравнений колебания цилиндрических слоев и оболочек, с учетом содержащихся в их полостях вязкой сжимаемой жидкости, а также их решений подтверждаются сопоставлением, в частных случаях, с уравнениями классической теории, уточненными уравнениями типа С.П.Тимошенко и с известными результатами других исследователей.

Научная значимость результатов исследований состоит в развитии теории нестационарных колебаний вырожденных систем Петрашеня Филиппова применительно к цилиндрическим слоям, взаимодействующих с вязкой сжимаемой жидкостью; в создании необходимой теоретической предпосылки для научно-обоснованного решения задач о колебаниях упругих слоев и оболочек, взаимодействующих с вязкой сжимаемой жидкостью. Кроме того, они, в силу того, что носят достаточно общий характер, могут быть распространены, как нам представляется, на случаи учета большего числа физико-механических (реологических, анизотропных, электромагнитоупругих и др.) свойств материала слоя.

Практическая ценность изложенных в диссертационной работе результатов и выводов состоит в том, что на их основе можно вести уточненный расчет напряженно-деформированного состояния кругового цилиндрического упругого слоя (оболочки), взаимодействующего с вязкой сжимаемой (в частности вязкой несжимаемой и идеальной) жидкостью, при вынужденных и свободных продольно-радиальных его колебаниях.

Реализация результатов. В процессе работы автор участвовал как исполнитель в проведении научно-исследовательских работ по госбюджет-

при Кабинете Министров Республики Узбекистан: «Исследование нестационарных колебаний элементов конструкций с учетом слоистости, переменности толщины и взаимодействия с вязкой жидкостью» (№ гос. рег. ОТ-Ф1.-132). Кроме того, результаты и методы, представленные в диссертации, могут быть использованы в научных исследованиях специалистами по механике деформируемого твердого тела, гидроупругости и математической физике. Некоторые результаты диссертационной работы используются в учебном процессе Самаркандского государственного университета, при выполнении студентами выпускных и курсовых работ. **Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях и семинарах:

на Республиканской научной конференции «Актуальные проблемы механики контактного взаимодействия», Самарканд, 1997 г.; на Межд. Науч.-техн. конференции «Вычислительная мех.деформ.тверд.тела», Москва, МИИТ, 2006 г.; на Всероссийской науч.-практич. конференции «Инженерные системы - 2008», Москва, РУДН, 2008 г.; на ежегодных научных конференциях проф.-преп.состава СамГУ (г.Самарканд, 1998- 2009 гг.); на объединенном семинаре кафедр «Механика» (проф. Х.Х. Худойназаров) и «Математическое моделирование» (проф. Х.Т. Тураев) СамГУ; на Самаркандском городском семинаре (рук. акад. Т.Ш. Ширинкулов); на семинаре при специализированном совете ИМ и СС АН РУз.

Опубликованность результатов. Основные результаты диссертации отражены в 7 опубликованных работах, из них 4— в периодических журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка использованной литературы из 87 наименований. Общий объем диссертации составляет 120 страниц машинописного текста, включая 2 таблицы и 20 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении дана развернутая характеристика и обоснование актуальности проблемы, поставлена цель диссертационной работы, сформулированы основные положения научной новизны диссертации, которые выносятся на защиту. Выделены главные вопросы, подлежащие разработке, дана характеристика научной и практической значимости полученных в работе результатов, способов обоснования их достоверности. Кратко охарактеризованы все главы диссертации.

Первая глава посвящена изложению основных уравнений и соотношений теории упругости и механики жидкости в цилиндрической системе координат и общему обзору научных работ, посвященных нестационарному взаимодействию элементов инженерных конструкций с деформируемой

нарном взаимодействии упругого цилиндрического слоя кругового сечения с вязкой сжимаемой жидкостью. Приведены основные уравнения и соотношения гидроупругости, применительно к цилиндрическим слоям и вязким жидкостям.

В первом параграфе приведен обзор работ, посвященных исследованию по расчету элементов инженерных конструкций на действие различных динамических нагрузок, вызванных источниками различной природы, в частности, действием акустических и нестационарных волн, распространяющихся в среде, окружающей рассматриваемый элемент или содержащейся (заполняющей) в его полости.

Во втором параграфе приведена расчетная схема общей задачи, исследуемой в диссертационной работе. Рассматривается однородный и изотропный цилиндрический слой произвольной толщины из упругого материала, содержащий вязкую сжимаемую жидкость. При этом слой отнесен к цилиндрической системе координат (r, θ, z) , где ось z - направлена по оси симметрии цилиндра. Считается, что колебания слоя, как и жидкости малы. При этом малость колебаний предполагает малости смещений точек слоя и жидкости.

Приведены волновые уравнения движения цилиндрического упругого слоя

$$\begin{aligned} & \times \\ & \times \\ & \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \Phi^2} \\ & (2);, \\ & \lambda \mu \rho \mu \rho_1 \\ & + \Delta \Phi = \\ & \frac{\partial}{\partial t} \end{aligned} \quad \Delta \Psi = \quad (r, \theta, z) \in \Omega, (1)$$

где Δ - трехмерный оператор Лапласа; Ω_1 - объем пространства, занятый слоем.

$$\times \times \quad [[]] = \Phi + {}_z \Psi_1 + {}_z \Psi_2 U \text{grad rot } e \text{ rot } e$$

Все компоненты тензора напряжений $(r, z)_{ij} \sigma, \theta$, и деформаций $(r, z)_{ij} \epsilon, \theta$, выражены через потенциалы продольных Φ и поперечных Ψ_1, Ψ_2 волн.

Аналогично приведены уравнения движения вязкой сжимаемой жидкости

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \\ & \frac{\partial}{\partial t} \\ & \frac{\partial}{\partial t} \\ & \frac{\partial}{\partial t} \end{aligned} \quad \frac{\partial}{\partial t} \quad \frac{\partial}{\partial t} \quad \frac{\partial}{\partial t}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \right) \Delta - \frac{\partial}{\partial t} = 0 \\
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \right) \Delta - \frac{\partial}{\partial t} = 0 \\
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \right) \Delta - \frac{\partial}{\partial t} = 0 \\
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \right) \Delta - \frac{\partial}{\partial t} = 0
\end{aligned}$$

где Ω_2 -объем пространства, занятый жидкостью.

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \right) \Delta - \frac{\partial}{\partial t} = 0 \\
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \right) \Delta - \frac{\partial}{\partial t} = 0 \\
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \right) \Delta - \frac{\partial}{\partial t} = 0 \\
& \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \right) \Delta - \frac{\partial}{\partial t} = 0
\end{aligned}$$

Все компоненты тензоров напряжения в точках жидкости $P(r, z)_{ij}, \theta$, и скоростей деформаций $e(r, z)_{ij}, \theta$, также выражены через потенциалы G, χ_1 и

χ_2 .

Эти соотношения совместно с начальными и граничными условиями, которые задаются отдельно для слоя и жидкости, а также кинематически-

8

ми и динамическими условиями, заданными на колеблющейся стенке, представляют замкнутую формулировку соотношений гидроупругости для цилиндрического слоя и вязкой сжимаемой жидкости.

В третьем разделе дана постановка динамической краевой задачи для цилиндрического слоя, взаимодействующего с вязкой сжимаемой жидкостью при продольно-радиальных его колебаниях. Считается что, для не стационарного колебания цилиндрического слоя граничные условия должны быть заданы на внешней поверхности слоя. Динамические и кинематические условия заданы на контактной, на границе раздела двух сред, поверхности слоя.

В четвертом параграфе дана методика решения волновых уравнений (1), (3), (4) для осесимметричного случая. Получены точные решения уравнений движения слоя и жидкости в преобразованиях. В случае цилиндрического слоя полученные решения ограничены при $r = 0$ и $r \rightarrow \infty$, а в случае жидкости при $r = 0$. Все компоненты напряженно-деформированного состояния гидроупругой системы «цилиндрический упругий слой – вязкая сжимаемая жидкость» выражены через полученные общие решения в преобразованиях.

Во второй главе диссертационной работы выводятся уточненные уравнения колебания рассматриваемой гидроупругой системы исходя из точного решения трехмерной задачи теории упругости для цилиндрического слоя и решения уравнений движения вязкой сжимаемой жидкости в преобладаниях. Предполагается лишь о том, что колебания жидкости малы.

В первой параграфе выведены общие уравнения продольно-радиальных колебаний кругового цилиндрического упругого слоя, содержащего вязкую сжимаемую жидкость. В силу осесимметричности задачи о продольно-радиальных колебаниях рассматриваемой гидроупругой системы отличными от нуля компонентами тензоров напряжений в точках

слоя и жидкости $\sigma_{rr}, \sigma_{zz}, \sigma_{rz}, \sigma_{\theta\theta}$ являются: $P_{rr}, P_{zz}, P_{rz}, P_{\theta\theta}$. Отличны

нулю перемещения U_z, U_r и компоненты скорости частиц жидкости V_z, V_r .

Тогда уравнениями движения слоя и жидкости в потенциалах Φ, Ψ_2, χ_1 .

χ_2 будут (1), (3), (4) с учетом равенства нулю потенциалов Ψ_1 и

Считается, что продольно-радиальные колебания цилиндрического слоя возбуждаются усилиями на внешней поверхности слоя при $r = r_2$, т.е. граничные условия задачи имеют вид

$$\sigma_{rr} = (r, z, t) f(z, t), \quad \sigma_{zz} = (r, z, t) g(z, t), \quad \sigma_{rz} = (r, z, t) h(z, t), \quad \sigma_{\theta\theta} = (r, z, t) k(z, t), \quad (6)$$

Будут иметь места следующие динамические и кинематические условия на поверхности контакта твердой и жидкой сред

$$\begin{aligned} & r, z, t P_{rz} - \sigma_{rz} = -\rho_2 \frac{\partial \chi_2}{\partial t} \quad (7) \\ & r, z, t P_{rr} - \sigma_{rr} = -\rho_2 \frac{\partial \chi_2}{\partial t} \quad (8) \end{aligned}$$

Начальные условия задачи считаются нулевыми.

Для решения задачи (1), (3), (4), (6), (7), (8) функции внешних воздействий рассматриваются в классе функций, представимых в виде

$$\cos kz \quad \sin kz \quad f(z, t) = \sum_{p=0}^{\infty} f_p(z, t) \quad (9)$$

$$(\dots)^{pt}, dkfkpe dpfzt$$

$$^{(0)}dkfkpe dp$$

$$= (9) \int \int \int \int$$

$$\sin \frac{kz}{l} - \cos \frac{kz}{l}$$

где (l) – разомкнутый контур в плоскости p прилегающий справа к участ ку $(\dots)$, $\omega_0 \omega_0 - i$ мнимой оси. Кроме того, функции $f(z t)_{rz}$ и $f(z t)_{rz}$, предпола гаются такими, что функции $f(k p)_{rz}$,

$$^{(0)}и f(k p)_{rz},$$

$^{(0)}$ пренебрежимо малы вне

области $0 < k \leq k_0$

$\text{Im } p < \omega$. Аналогично (9) представив потенциалы Φ, Ψ_2 ,

Ги обыкновенные дифференциаль

χ_2 в уравнениях (1), (3), (4) получаем

ные уравнения, общие решения которых, учитывающие ограниченности решений при $r = 0$ и $r \rightarrow \infty$, выражаются через модифицированные функ ции Бесселя и равны

$$\Phi r = A I \alpha r + A K \alpha r; (\dots)$$

$$\Psi r = B I \beta r + B K \beta r, \quad 12$$

$$(\dots)$$

$$G r = C I \delta r; (\dots)$$

$$и (\dots)$$

$$r \leq r \leq r \quad (10)$$

$$\chi r = D I \gamma r, \quad (11)$$

где A_i, B_i, C_i, D – постоянные интегрирования;

$$\alpha = k + p a \quad \beta = k + p b \quad \delta = k + p a + \nu p \quad \gamma = k + p \nu$$

$$/ ; / ; 3 / (3 4); / . 0$$

Аналогично (9) преобразовав напряжения

σ_{ij} и P_{ij} подставлены в гра

ничные и контактные условия (6) – (8). Подставив в преобразованные гра ничные условия решения (10), (11) получены

2

$$\alpha \quad [(\dots)] [(\dots)] [(\dots)]$$

$$\mu \alpha \lambda \alpha \alpha$$

$$+ - + - - -$$

$$k I r A K r A$$

$$\mu \alpha \alpha I r A K r A$$

$$01021112$$

$$(12)$$

$$2$$

$$\beta$$

$$k$$

$$r$$

$$^{(0)}$$

$$2$$

$$\begin{aligned}
& [()()] [()()] (,) , - + + - = , \\
& \mu \beta \beta \beta k I r B K r B \quad I r B K r B f k p \\
& 01021112 \quad r \\
& 2^{(0)} \quad 1 \\
& [()()] () [()()] (,) . \alpha \alpha - \alpha - \beta \beta + \beta - \beta = k I_1 r A_1 K_1 r A_2 k I r B \\
& K r B f_{r z} k p \\
& 1112 \quad \mu
\end{aligned}$$

В дальнейшем, используя стандартные разложения модифицированных функций Бесселя, введя новые искомые функции $U_{r,j}$, $U_{z,j}$, ($j = 0,1$), кото рые являются главными частями перемещений, контактирующей с жидко стью поверхности слоя и осуществляя обратное преобразование получена система уравнений

$$\begin{aligned}
& ()() \\
& c R a R a U c R a R a U \\
& - - + - - - \\
& 11111121,012121111,0 \\
& r r z z r r r z z z \\
& ()() 0; \\
& - - - + - + = \\
& c R r a R r a U c R r a R r a U \\
& 1311311141,11411411131,1 \\
& r r z z r r r z z z \\
& d R a R a U d R a R a U \\
& ()() \\
& - - + - + - \\
& 11211221,012221211,0 \\
& r r z z r r r z z z \\
& ()() 0; \\
& - - - - - + = \\
& d R r a R r a U d R r a R r a U \\
& 1321312141,11421412131,1 \\
& r r z z r r r z z z \\
& 1 \\
& () \\
& c U c U c U c U f z t \\
& + - + = \\
& 21,022,023,124,1 \\
& r z r z r \\
& \mu \\
& 1 \\
& , ; \\
& d U d U d U d U f z t + - - = \\
& 21,022,023,124,1 \\
& r z r z r z \\
& \mu
\end{aligned}$$

где $_{ij} \tilde{n}$, d - операторы типа

(,),
(13)

$$10$$

2_m

2

$$|$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline | & | & | & | \\ \hline | & | & | & | \\ \hline | & | & | & | \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline | & | & | & | \\ \hline | & | & | & | \\ \hline | & | & | & | \\ \hline \end{array}$$

$$((\,))(\,)(\,)$$

$$_m$$

$$\begin{array}{|c|c|} \hline | & | \\ \hline | & | \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline | & | \\ \hline | & | \\ \hline \end{array}$$

$$r_i$$

2

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline | & | & | & | & | & | & | & | \\ \hline | & | & | & | & | & | & | & | \\ \hline | & | & | & | & | & | & | & | \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{|c|c|} \hline | & | \\ \hline | & | \\ \hline \end{array}$$

$$1\,1\,1\,2\,1\,2!\,1\,1!$$

$$^2\,^1\,^m$$

$$\begin{array}{|c|c|} \hline | & | \\ \hline | & | \\ \hline \end{array}$$

$$^2\,^1$$

$$z$$

$$\sum_{m+}^{\infty}$$

$$\begin{array}{|c|c|} \hline | & | \\ \hline | & | \\ \hline \end{array}$$

$$\partial$$

$$r$$

2

$$\rho$$

$$,$$

$$R'\partial'\partial$$

$$^m\,^i$$

$$2\,4$$

$$\begin{array}{|c|c|} \hline | & | \\ \hline | & | \\ \hline \end{array}$$

$$\mu$$

3

2_0

$$_i\lambda_{m\,m}\lambda$$

$$=$$

$$q\,P\,P\,q\,-\,+$$

$$d$$

$$+\,'$$

$$(\,);$$

$$=$$

$$\begin{array}{|c|c|} \hline | & | \\ \hline | & | \\ \hline \end{array}$$

$$1\,1\,1\,1\,1\,2+$$

1

$$\partial$$

$$^+\,^m\,^m$$

$$\mu$$

0

$$\mu$$

$$z$$

3

2_2

$$!\,1\,!$$

$$)$$

$$t\,r\,t$$

$$0$$

2

2

$$m$$

1

1

m

$$=$$

$$\begin{array}{|c|c|} \hline | & | \\ \hline | & | \\ \hline \end{array}$$

$$r$$

m

$$\begin{array}{|c|c|} \hline | & | \\ \hline | & | \\ \hline \end{array}$$

1

$$\begin{array}{|c|c|} \hline | & | \\ \hline | & | \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{|c|c|} \hline | & | \\ \hline | & | \\ \hline \end{array}$$

n

$$(\,)\sum$$

1

$$\partial$$

$$\lambda_1 \lambda_2; \quad \lambda; \quad m \quad \lambda. (14) \quad m$$

$$n k k P_m$$

$$=$$

$$--$$

$$k$$

$$=$$

$$2$$

$$1$$

$$=$$

$$2$$

$$0$$

$$1$$

$$2$$

$$\partial$$

$$2$$

$$2$$

$$2$$

$$\partial$$

$$2$$

$$-$$

Полученная система уравнений (13) является общими уравнениями продольно-радиальных колебаний кругового цилиндрического упругого слоя, содержащего вязкую сжимаемую жидкость, относительно главных частей перемещений точек внутренней поверхности слоя, контактирующей с поверхностью содержащейся жидкости. Эти уравнения, в соответствии с видом операторов m

$\lambda_{1,2}$, определенных формулой (14), содержат члены с производными функций произвольного порядка как по координате z , и по временной координате. Выведенные уравнения содержат внешние динамические усилия, действующие на поверхности слоя, а также реакцию содержащейся вязкой сжимаемой жидкости.

Во втором параграфе приведен алгоритм расчета напряженно деформированного состояния цилиндрического слоя с вязкой сжимаемой жидкостью, при продольно-радиальных её колебаниях.

Перемещения U_r, U_z , компоненты скорости V_r, V_z

, и все отличные от ну

ля компоненты напряжения в точках слоя и жидкости выражены через известные функции $U_{r,k}, U_{z,k} (k = 0, 1)$. Полученные формулы позволяют полностью определить напряженно-деформированное состояние в произвольном сечении гидроупругой системы для произвольного момента времени и с желаемой точностью по координатам r и z .

В третьем параграфе анализированы результаты проведенных исследований в предыдущих пунктах главы. Рассмотрены некоторые частные и предельные случаи полученных результатов. Кроме того, некоторые результаты, следующие из полученных результатов, как частные случаи, сравнены с известными результатами других авторов. В рамках данного параграфа доказана, что реакция вязкой жидкости на продольно радиальные колебания цилиндрического слоя является сложной и представляет собой матрицу линейных дифференциальных операторов. Рассмотрены три частные случаи реакции вязкой сжимаемой жидкости : а) несжимаемая вязкая жидкость;

б) сжимаемая идеальная жидкость;

в) несжимаемая идеальная жидкость.

Отмечается, что можно рассматривать два предельных состояния цилиндрического слоя и случай отсутствия жидкости и соответствующие им уравнения колебания. Первое состояние или первый предельный случай заключается в том, что при $r_1 \rightarrow 0$ цилиндрический слой переходит в цилиндрический стержень. Второй случай состоит в том, что цилиндриче-

ский слой конечной толщины переходит в тонкую цилиндрическую оболочку при выполнении условия $0,05 < \frac{r_1}{r_2}$.

В случае отсутствия жидкости равны нулю операторы, отвечающие за её реакцию в уравнениях (13) т.е. $R_{r1} = R_{z1} = R_{r2} = R_{z2} = 0$.

1) В случае $r_1 = 0$ из системы (13) получены следующие два уравнения

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} U_{r,0} + \frac{\partial}{\partial z} U_{z,0} = \mu \left(\frac{\partial^2 U_{r,0}}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 U_{z,0}}{\partial z^2} \right) \\ & f(z,t) + f U f(z,t) f_{zzrz} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} & e U e_{rrrz} + = \\ & = \frac{\partial}{\partial z} \mu \frac{\partial}{\partial z} \mu \end{aligned}$$

где $U_{r,0}$ и $U_{z,0}$ являются главными частями радиальных перемещений толстого стержня. Эти уравнения в точности совпадают с уравнениями, полученными проф. И.Г.Филипповым. Они совпадают также с уравнениями, полученными профессором Х. Худойназаровым, как частный случай уравнений продольно-радиальных колебаний круговой цилиндрической упругой оболочки.

$$2) = (1 + \varepsilon)_{21}$$

т.е. в случае перехода цилиндрического слоя в тонкую цилиндрическую оболочку система уравнений переходит в общие уравнения продольно-радиальных колебаний круговой цилиндрической тонкостенной оболочки, содержащей вязкую сжимаемую жидкость.

3) Выписаны также общие уравнения продольно-радиальных колебаний круговых цилиндрических слоев и оболочек без учета содержащейся в них вязкой сжимаемой жидкости. Эти результаты совпадают с результатами работы проф. Х. Худойназарова, в частном случае, когда в качестве поверхности, несущей информацию о колебаниях слоя принята некоторая «промежуточная» поверхность слоя.

В третьей главе из общих уравнений выведены приближенные уравнения продольно-радиальных колебаний круговых цилиндрических слоев и оболочек, взаимодействующих с вязкой жидкостью. Проанализированы различные приближения общих уравнений колебания. Обсуждены вопросы постановки краевых задач о продольно-радиальных и поперечных колебаниях цилиндрической оболочки, заполненной вязкой сжимаемой жидкостью. Произведен сравнительный анализ численных результатов расчета частот собственных продольно-радиальных колебаний свободно опертой по торцам цилиндрической оболочки, заполненной жидкостью.

В первом параграфе выведены уточненные уравнения продольно

[illegible]

$$\begin{array}{ccccccc} {}^1 & & & & & & \\ ++\lambda & - & & U & & & {}^{100}-+ \\ & {}_{00} & & & & & \\ & 2 & 2 & 1 & = & & \\ & {}_2 & {}_r t & {}_{2,1}r & - & 0 & \end{array}$$

$$\begin{array}{c} {}^1 \\ \mu \\ \partial \end{array}$$

$$\begin{array}{c} {}^2 \\ 2 \\ | \rfloor \rfloor \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \mu \\ r \\ {}^1 \\ 2 \\ 3 \\ \mu \\ \partial \\ t \end{array}$$

$$\begin{array}{c} {}^2 \\ 2 \\ \mu \\ {}^3 \\ \partial \\ z \end{array}$$

$$\begin{array}{c} {}^2 \\ | \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} & aU & \\ \partial & & ' \partial \\ | \rfloor (& & \\ | \rfloor (& & \\ | \rfloor \rfloor \rfloor \rfloor \rfloor \end{array}$$

$$\begin{array}{c} ' \partial \\ | \rfloor \rfloor \rfloor \rfloor \end{array}$$

$$\rho$$

$$\begin{array}{ccccccccccc} & & 2 & & \rho & & | \rfloor \rfloor \partial \partial & & & & \\ & & 3 & & & & & & & & \\ 1 & ++q & \mu & - & {}^{00}r & {}^{,0}() & {}^{+-}{}_0 & {}^{-2}+ ' & \partial \partial \partial & & \\ & & & & & 1 & qa & & & 343 & \\ & & & & & \lambda & & & & & \end{array}$$

$$\begin{array}{c} {}^1 \\ 3 \\ \mu \\ \partial \\ t \\ 2 \\ \mu \\ \partial \\ z \\ {}^{11} \\ 3 \\ \mu \end{array}$$

$$\frac{1}{2} \ln \frac{r}{r_1} = \frac{U r q}{2,112}]$$

$$| - r$$

Второй параграф данной главы посвящен вопросам формулировки граничных и начальных условий прикладных задач. Разработаны основные принципы постановки задач и формулировки граничных условий. Для цилиндрического слоя или оболочки, имеющего длину l , по оси симметрии которого направлена продольная ось системы координат (r, θ, z) , на торцах $z = 0$ и $z = l$ имеют места следующие условия:

1

$$\frac{\partial M}{\partial z}$$

1

а) свободный край $N_z = 0, 0$

$$N, 0$$

$$z\theta + M_{z\theta} = Q, = 0 M_z;$$

$$\frac{r}{1} \frac{z}{-} \frac{r}{1} = \frac{z\theta}{\theta}$$

13

б) шарнирно опертый край $N_z = 0, = 0 M_z, U_\theta = 0, U_r = 0; (17)$

$\frac{\partial}{\partial z}$

$$U^r.$$

в) жестко – заделанный край $U_r = U_\theta = U_z = 0, = 0$

$$\frac{\partial}{\partial z}$$

Исходя из условий (17) сформулированы граничные условия основных типов краевых задач колебания цилиндрических слоев и оболочек, заполненных вязкой сжимаемой жидкостью.

В третьем параграфе проводится сравнительный анализ числовых значений частот собственных продольно-радиальных колебаний упругой цилиндрической оболочки, полученных по уравнениям (16) и по уравнениям классической теории Кирхгоффа-Лява и уточненных теорий типа С.П.Тимошенко (Германна – Мирски, Филиппова – Худойназарова). Установлено, что уравнение Германна-Мирски не подчиняется критерию Гурвица и дает неточные результаты. Можно получить более точные результаты, согласующихся с критерием Гурвица только при определенных значениях поправочного коэффициента Тимошенко. Данный вывод полностью совпадает с такими же выводами других авторов. Уравнения (16) хорошо описывают волновой процесс, как и уравнения Филиппова Худойназарова, в длинных оболочках вне зависимости от значений, параметра формы волнообразования т.е. при достаточно низких и высоких формах волнообразования.

Четвертый параграф посвящен анализу напряженно-деформированного состояния полубесконечной упругой цилиндрической оболочки, за

полненной вязкой сжимаемой жидкостью. Считается, что на жестко защемленный торец одето жесткое, недеформируемое в радиальном направлении, кольцо малой ширины. Колебательный процесс возбуждается кинематическим воздействием на жестко защемленный торец оболочки. Получено аналитическое решение задачи, позволяющее вычислить все компоненты напряженно-деформированного состояния рассматриваемой гидроупругой системы. Приведены графики изменения некоторых компонент напряжений и перемещения.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена исследованию гармонических крутильных и продольно-радиальных колебаний цилиндрических слоев и оболочек, как с учетом, так и без учета влияния вязкой жидкости. Это связано с тем, что уже на промежуточном этапе решения задачи удастся получить важные данные о таких характеристиках колебательных систем как фазовая и групповая скорости, собственные частоты и формы колебаний.

В первом параграфе данной главы исследовано распространение гармонических волн кручения в бесконечном цилиндрическом слое, заполненном вязкой сжимаемой жидкостью,

2

$$+ \frac{\partial^2}{\partial t^2} U$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial \theta} \right) = 0$$

$$\lambda_{2,0} =$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial t} \right) = 0$$

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{r}{2} \right)^2 \left(\frac{r}{4} \right)^2 \left(\frac{r}{1} \right)^2 \left(\frac{r}{2} \right)^2 \left(\frac{r}{1} \right)^2 \left(\frac{r}{2} \right)^2 \\
 & U f(z, t) \\
 & \lambda \lambda \lambda = \\
 & U r \\
 & + - . (18) + - \\
 & \ln \\
 & 2^{1,2,0,1,2} \\
 & \theta \theta \theta \\
 & 2 \quad r \quad 2 \quad 8 \quad r \quad 4 \quad 2 \quad \mu \\
 & 14
 \end{aligned}$$

С учетом того, что при свободных колебаниях внешняя поверхность слоя свободна от нагрузок и равна нулю правая часть второго уравнения, из (18) получено частотное уравнение шестого порядка относительно круговой частоты ω , которое решалось с помощью программы «Maple 7». Результаты расчетов представлены в виде зависимостей частоты ω от волнового числа k , одна из которых представлена на рис. 1. Установлено, что при решении прикладных задач о крутильных колебаниях цилиндрических слоев и оболочек влиянием сжимаемой жидкости со значением плотности 500 кг/м³ и меньше можно пренебречь, в остальных случаях, когда значение плотности жидкости превышает данный рубеж, следует учитывать влияние содержащейся сжимаемой жидкости.

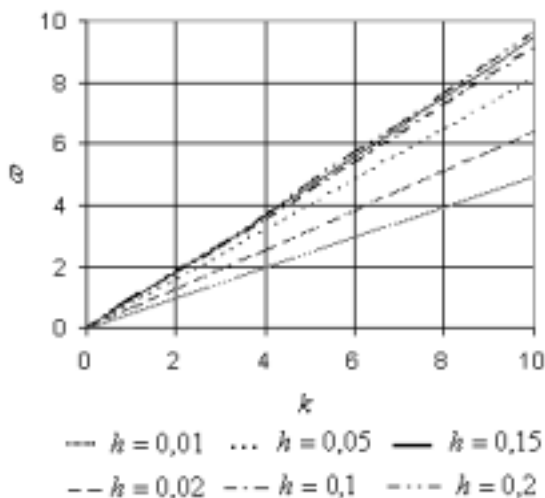
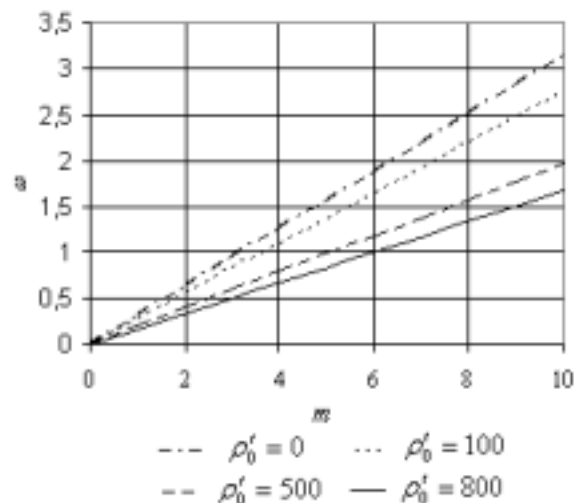


Рис.1. Зависимости частоты крутильных колебаний от волнового числа для сплошного слоя при различных значениях толщины 0,01;



0,02; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2 и при $\rho_0=1000$ кг/м³.

Рис.2. Зависимости частоты колебаний оболочки ($h=0,01$) от волно

вого числа при различных значениях плотности жидкости.

Во втором параграфе исследованы собственные крутильные колебания кругового цилиндрического слоя, торцы которого свободно оперты. При этом в качестве, содержащейся в полости слоя, жидкости рассмотрены как сжимаемая, так и несжимаемая вязкие жидкости. В этом случае в соответствии с результатами предыдущих разделов задача также приводится к решению системы уравнений, каждое из которых имеет четвертый порядок по производным по координате z и по времени t . Получено следующее уравнение частот

[illegible]

где m – волновое число; l – безразмерная длина цилиндрического слоя; ω_m – частота колебаний, соответствующая числу m . Уравнение (19) решалось

численно. На рис.2 приведена зависимости частоты продольно-радиальных колебаний оболочки ($h=0,01$) от волнового числа при различных значениях плотности жидкости. Установлено, что влияние жидкости на частоты ко

лебаний цилиндрического слоя приводит к её уменьшению, но не в такой степени как в цилиндрической оболочке. Разница между значениями частот одинаковых цилиндрических оболочек с жидкостями различной плотности при значении волнового числа $m = 8$ может составлять до 50% и т.д. В третьем параграфе рассмотрены некоторые вопросы распространения продольных гармонических волн в упругих цилиндрических слоях и оболочках, содержащих вязкую сжимаемую жидкость. В качестве уравнений колебания применена система четырех приближенных уравнений колебания, полученных из общих уравнений (13), ограничиваясь нулевым приближением. Решение задачи доведено до численных результатов, на основе которых построены соответствующие графики. Расчеты проведены для оболочки толщиной $h=0,01$ из меди и стали со следующими физико-механическими характеристиками: медь: $E=1,1 \cdot 10^{11}$ Па; $\nu=0,32$; сталь: $E=2 \cdot 10^{11}$ Па; $\nu=0,25$.

Полученные результаты показывают, что при значениях волнового числа $k \leq 4$ зависимости частоты - ω от волнового числа - k носят непропорциональный характер, а в дальнейшем, с ростом k эти зависимости становятся пропорциональными. При длинноволновых процессах, когда $k \leq 2$ низшая частота колебаний нулевая для пустой оболочки, для заполненной же оболочки значения частоты колеблются в интервале $0 \leq \omega \leq 0,3$ для медной оболочки и в интервале $0 \leq \omega \leq 0,2$ для стальной оболочки. Разница между значениями частоты стальной заполненной и незаполненной оболочек при $k=8$ составляет 71,4%. Тогда как, для медной оболочки она равна 26,7%. Разница же значений между частотами медной и стальной оболочек при $k=8$ составляет более чем 5%. В случае заполнения она равна 28,6%. Отсюда следует, что влияние вязкой жидкости на частоты колебаний стальной оболочки больше чем на частоты колебаний медной оболочки. Другими словами это означает, что влияние вязкой жидкости на частоты колебаний оболочки из твердого материала в несколько раз больше чем из мягкого материала.

В заключении к работе в целом подведен итог проведенных исследований, сформулированы основные выводы и результаты, указаны направления дальнейшего развития и обобщения основных положений диссертационной работы, а также рекомендации по их использованию.

Основные научные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Развита метод вывода уравнений колебания Петрашени-Филиппова для пластин применительно к цилиндрическому слою, взаимодействующего с вязкой сжимаемой жидкостью.

2. Предложены новые общие, уточненные и приближенные уравнения продольно-радиальных колебаний кругового цилиндрического упругого слоя, содержащего вязкую сжимаемую жидкость. Эти уравнения в своих структурах автоматически учитывают влияние инерции вращения и деформации поперечного сдвига и выведены при внешних динамических нагрузках, действующих на неконтактирующей с вязкой жидкостью по поверхности слоя.

3. Определены закономерности динамической реакции содержащейся в полости цилиндрического слоя вязкой сжимаемой жидкости на напряженно-деформированное состояние гидроупругой системы «цилиндрический слой - вязкая жидкость» при её продольно-радиальных колебаниях.

4. Выведены формулы для компонент тензора напряжений и вектора перемещений дающих возможность вычислить их в произвольном сечении цилиндрического слоя и точках вязкой сжимаемой жидкости.

5. Создан новый вариант метода динамического расчета круговых цилиндрических упругих слоев и оболочек, содержащих в своих полостях вязкую сжимаемую жидкость на действие различных внешних динамических нагрузок. Метод заключается в постановках прикладных задач, в выводе уравнений колебания, как уточненных типа С.П.Тимошенко, так и классических типа Кирхгоффа-Лява, и в разработке алгоритма расчета НДС системы с учетом реакции взаимодействующей жидкости.

6. Решен ряд задач о распространении гармонических волн кручения, сжатия и волновых процессах в цилиндрических слоях, содержащих вязкую сжимаемую жидкость, а также о неустановившихся колебаниях гидроупругой системы «цилиндрический слой - вязкая жидкость», при действии на нее внешних нестационарных нагрузок.

7. Численные результаты решения задачи о нестационарных колебаниях упругой цилиндрической оболочки, содержащей вязкую сжимаемую жидкость, показали, что:

- напряжения σ_{rr} и $\sigma_{\theta\theta}$ сильно зависят от увеличения плотности жидкости: с

увеличением плотности жидкости значения напряжений быстро падают, достигая 5,5 кратного уменьшения в случае σ_{rr} и 10 кратного уменьшения в

случае σ_{zz} в сечении $z = 0$;

- напряжения интенсивно затухают по расстоянию по продольной координате. Значения нормального продольного напряжения в сечении $z = 13$ уменьшаются в 5 раз по сравнению с сечением $z = 0$; Аналогично, в случае нормальных радиальных напряжений уменьшается в 3,5 раза по сравнению

с тем же нулевым сечением.

17

8. Решением задачи о распространении гармонических волн кручения в цилиндрическом слое, заполненном вязкой сжимаемой жидкостью, доказано:

- влияние жидкости, содержащейся в полости цилиндрического слоя на его частоту колебаний меньше по сравнению с частотой колебания цилиндрической оболочки. При относительно длинноволновых процессах, т.е. когда $k \leq 3$, влиянием жидкости на частоту колебаний можно пренебречь. С переходом на более высокочастотные процессы указанное влияние возрастает, при этом разница значений частот достигает 20-22% при $k = 8$ для значений плотности жидкости равных нулю и 1500^3

$\text{кг} / \text{м}^3$;

- влияние сжимаемой жидкости на частоту крутильных колебаний как оболочки, так и слоя, при значениях плотности ³

$\rho < 500 \text{ кг} / \text{м}^3$ несущее

ственно и им можно пренебречь практически во многих прикладных задачах. С другой стороны следует подчеркнуть, что влиянием жидкости со значением плотности 500^3

$\text{кг} / \text{м}^3$ выше нельзя пренебречь.

9. Результаты проведенных расчетов по решению задачи о собственных частотах крутильных колебаний, свободно опертого по торцам цилиндрического слоя, заполненного вязкой сжимаемой жидкостью показали, что, разница между значениями частот одинаковых цилиндрических оболочек с различными жидкостями, плотности которых равны соответственно $100 \text{ кг} / \text{м}^3$ и 500^3

$\text{кг} / \text{м}^3$ при $m = 8$ составляет около 50%. В то же время та же ³

разница между частотами оболочек с жидкостями с плотностями 500^3
 $\text{кг} / \text{м}^3$

и 800^3

$\text{кг} / \text{м}^3$ не превышает и 20%.

10. Решением задачи о распространении продольных гармонических волн в цилиндрической оболочке, содержащей вязкую сжимаемую жидкость, доказано, что, влияние вязкой жидкости на частоты колебаний оболочки из твердого (сталь) материала больше ($\approx 70\%$), чем из более мягкого (медь) материала ($\approx 26\%$).

Разработанные уравнения колебания и аналитические методы могут быть применены к решению актуальных прикладных задач о колебаниях круговых цилиндрических слоев и оболочек, взаимодействующих с вязкими сжимаемыми и несжимаемыми жидкостями. В целом, результаты и методы, представленные в диссертации, могут быть использованы в научных исследованиях специалистами по механике деформируемого твердого тела, гидроупругости и математической физике.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ялгашев Б.Ф., Худойназаров Х. Осесимметричные колебания упругого цилиндрического слоя с вязкой сжимаемой жидкостью // Актуальные проблемы механики контактного взаимодействия: Сборник трудов Республиканской научной конференции. 18-20 ноября 1997. – Самарканд, 1997. – С.166-169.
2. Худойназаров Х.Х., Ялгашев Б. Продольно-радиальные колебания кругового цилиндрического слоя с вязкой сжимаемой жидкостью // Узбекский журнал Проблемы механики. – Ташкент, 1999. – № 4-5. – С.77-82.
3. Ялгашев Б.Ф. Крутильные колебания кругового цилиндрического слоя с вязкой сжимаемой жидкостью // Узбекский журнал Проблемы механики. – Ташкент, 1999. – № 4-5. – С.83-88.
4. Ялгашев Б.Ф., Буркутбоев Ш. Крутильные колебания вращающейся цилиндрической оболочки, взаимодействующей с внутренним и внешним потоками вязкой жидкости // Вычислительная механика деформируемого твердого тела: Труды международной научно-технической конференции. В 2-х т. 31 января – 2 февраля 2006. – Москва: МИИТ, 2006. – Т.1. – С.76-79.
5. Ялгашев Б.Ф. Распространение волн в цилиндрическом слое, содержащем вязкую сжимаемую жидкость // Доклады АН РУз. – Ташкент, 2007. – №2. – С.47-51.
6. Худойназаров Х.Х., Ялгашев Б. О нестационарных задачах гидроупругости для цилиндрического слоя с вязкой сжимаемой жидкостью // Проблемы архитектуры и строительства (науч.-техн. журнал). – Самарканд, 2007. – № 2. – С.44-46.
7. Буркутбоев Ш., Ялгашев Б.Ф. Нестационарные взаимодействия круговых цилиндрических слоев и оболочек с внутренним и внешним потоками жидкостей // Инженерные системы -2008: Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. 7-10 апреля 2008. – Москва: РУДН, 2008. – С.60.

Физика-математика фанлари номзоди илмий даражасига талабгор
Ялгашев Бурхон Файзуллаевичнинг 01.02.04 –
“Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси” ихтисослиги
бўйича “Қовушоқ сиқилувчан
суюқликни ўз ичига олган доиравий цилиндрик қатламнинг
ностационар тебранишлари” мавзусидаги диссертациясининг
РЕЗЮМЕСИ

Таянч (энг муҳим) сўзлар: цилиндрик қатлам, қобик, қовушоқ сиқилувчан суюқлик, буралма ва бўйлама-радиал тебраниш тенгламалари, кучланганлик деформацияланганлик ҳолати (КДХ), суюқлик реакцияси, айланиш инерцияси, кўндаланг силжиш деформацияси.

Тадқиқот объектлари: Қовушоқ сиқилувчан суюқлик билан ўзаро таъсир лашувчи ихтиёрий қалинликдаги доиравий цилиндрик қатлам (қобик). **Ишнинг мақсади:** Ўзаро таъсирлашувчи суюқлик ва ташқи динамик кучни ҳисобга олган ҳолда ихтиёрий қалинликдаги цилиндрик эластик қатлам ностационар тебранишлари тенгламаларини тенгламаларини келтириб чиқариш усулини ишлаб чиқиш ва тенгламаларни келтириб чиқариш; Қаралаётган система КДХни аниқловчи алгоритмни ишлаб чиқиш ҳамда қатлам ва қобик тебранишлари ҳақида амалий масалалар ечиш.

Тадқиқот методлари: Уч ўлчовли чизикли эластиклик назарияси, Фурье ва Лаплас интеграл алмаштиришлари усуллари, даражали қаторга ёйиш усули. **Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги:** Ўзаро таъсирлашувчи суюқликни ҳисобга олган ҳолда ихтиёрий қалинликдаги цилиндрик эластик қатлам ностационар тебранишлари тенгламаларини келтириб чиқариш усули ишлаб чиқилган; қаралаётган гидроэластик система тебранишларининг айланиш инерцияси ва кўндаланг силжиш

деформациясини ҳисобга олувчи янги тенгламалари таклиф этилган; таъсирлашувчи суюқликнинг динамик реакцияси аниқланган; қовушок сиқилувчан суюқликни ўз ичига олган доиравий кесимли цилиндрик қатламда гармоник буралма, бўйлама тўлқинлар тарқалиши ва тўлқинли жараёнлар ҳақидаги янги масалалар ечилган. **Амалий аҳамияти:** диссертация назарий характерга эга; тадқиқотларнинг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган тебраниш назарияси ва аналитик усулларнинг қовушок суюқлик билан ўзаро таъсирлашувчи доиравий цилиндрик қатлам тебранишлари ҳақидаги амалий масалаларга қўллаш билан боғлиқ. **Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги:** тадқиқот натижа лари Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Фан ва технологияларни ривожлантиришни мувофиқлаштириш қўмитасининг №26/99 (1999-2001), ОТ-Ф1.-132 (2007-2011) рақамли грантларини бажаришда қўлла нилган.

Қўлланиш (фойдаланиш) соҳаси: диссертацияда келтирилган натижалар ва усуллардан деформацияланувчи қаттиқ жисмлар механикаси, гидроэла стиклик ва математик физика соҳаларидаги илмий изланишларда фойдаланиш мумкин.

20

РЕЗЮМЕ

диссертации Ялгашева Бурхона Файзуллаевича на тему
**"Нестационарные колебания кругового цилиндрического слоя,
содержащего вязкую сжимаемую жидкость" на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.02.04 - "Механика деформируемого твердого
тела"**

Ключевые слова: цилиндрический слой, оболочка, вязкая сжимаемая жидкость, уравнения крутильных и продольно-радиальных колебаний, напряженно-деформированное состояние (НДС), реакция жидкости, инерция вращения, деформация поперечного сдвига.

Объекты исследования: круговой цилиндрический слой (оболочка) произвольной толщины, взаимодействующий с вязкой сжимаемой жидкостью. **Цель работы:** разработка методики и вывод уравнений нестационарных колебаний цилиндрического упругого слоя произвольной толщины с учетом взаимодействующей вязкой сжимаемой жидкости и динамических внешних нагрузок; разработка алгоритмов определения НДС системы и решение прикладных задач о колебаниях слоя и оболочки.

Методы исследования: методы линейной трехмерной теории упругости, интегральных преобразований Фурье и Лапласа, решения дифференциальных уравнений, метод разложения в степенные ряды.

Полученные результаты и их новизна: разработана методика вывода уравнений нестационарных колебаний цилиндрического слоя произвольной

толщины с учетом взаимодействующей вязкой сжимаемой жидкости; выведены новые уравнения колебания рассматриваемой гидроупругой системы, учитывающие влияния инерции вращения и деформации поперечного сдвига; определены законы динамической реакции взаимодействующей жидкости; разработаны алгоритмы определения НДС системы; решены новые задачи о распространении гармонических волн кручения, сжатия и волновых процессах в цилиндрических слоях, содержащих вязкую сжимаемую жидкость.

Практическая значимость: диссертация носит теоретический характер; практическое значение исследований связано с возможностями применения разработанных теорий колебания и аналитических методов к актуальным прикладным задачам о колебаниях круговых цилиндрических слоев и оболочек, взаимодействующих с вязкими жидкостями.

Степень внедрения и экономическая эффективность: результаты исследований использованы при выполнении грантов Комитета по координации развития науки и технологий при Кабинете Министров Республики Узбекистан: №26/99 (1999-2001гг.); ОТ-Ф1.-132 (2007-2011гг.).

Область применения: результаты и методы, представленные в диссертации, могут быть использованы в научных исследованиях специалистами по механике деформируемого твердого тела, гидроупругости и математической физике.

21

RESUME

Thesis of Yalgashev Burxan Fayzullaevich on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in physics and mathematics, on speciality 01.02.04 – Solid Mechanics. Subject: «No stationary vibrations of circular cylindrical layer containing viscous compressible fluid»

Key words: Cylindrical layer, shell, viscous compressible fluid, equations of torsional and longitudinal-radial vibrations, stressed-strain state (SSS), reaction of the fluid, rotatory inertia, transversal shear deformation.

Subject of research: Arbitrary walled circular cylindrical layer (shell), interacting with viscous compressible fluid.

Purpose of work: Development of method and reducing vibration equations of arbitrary walled cylindrical elastic layer with account of interacting viscous compressible fluid and external dynamic loading; development algorithm of defining SSS of systems and solution of vibration problems of layer and shell.

Method of research: 3D theory of elasticity, methods of Fourier and Laplace transformations, method of decomposition in power series. **The results obtained and their novelty:** Developed deducing method of nonstationary vibration equations of arbitrary walled cylindrical layer with account of interacting viscous compressible fluid; deduced new vibration equations of

considering hydroelastic system, taking account of rotatory inertia and transversal shear deformation; dynamic reaction laws of interacting fluid is defined; Algorithm defining SSS of system is developed; New problems about torsional, longitudinal harmonic wave propagations and wave processes in cylindrical layers containing viscous compressible fluid.

Practical value: of the thesis has theoretical character; practical value of investigation is connected with application abilities of developed vibration theory and analytical methods to actual applied problems about vibrations of circular cylindrical layers and shells, interacting with viscous fluids.

Degree of embed: Results of investigation is used in realization grants of the Committee for coordination science and technologies at the Cabinet of Ministers of the Republic Uzbekistan: №26/99 (1999-2000); OT-Ф1.-132(2007-2011).

Field of application: results and methods presented in the thesis, can use at scientific research specialties of solid mechanics, hydroelasticity and mathematical physics.

22

Сдано в набор 10.05.2010 г. Подписано в печать 29.05.2010 г.
Формат 60x84 1/32. Печ. лист 1. Тираж 100. Заказ 267.

Отпечатано в Институте археологии
Академии наук Республики Узбекистан
703051, г. Самарканд., ул. акад. В. Абдуллаев, 3.

23

24