

в нестационарной постановке для ортотропных пластин. В первом приближении рассматривается двухслойная пластина.

Решается двумерная задача теплообмена в двухслойной пластине в нестационарной постановке, когда наружный слой является ортотропным (теплопроводность описывается тензором второго ранга). Первый (наружный) слой описывается ортотропным уравнением теплопроводности, когда коэффициенты теплопроводности различны по координатным направлениям. Второй (внутренний) слой описывается обычным уравнением теплопроводности.

Задано начальное условие в виде постоянной температуры. На каждой границе задается тепловой поток (граничные условия 2-го рода). Условия сопряжения на границе раздела – неразрывность температуры и равенство тепловых потоков.

Решаем методом разделения переменных, получаем решение в виде разложения в ряд по собственным функциям.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант РФФ № 23-19-00684).*

УДК 531.383

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРУБЫ КОЛЬЦЕВОГО ПРОФИЛЯ С ТОНКИМИ ВНЕШНИМИ ШПАНГОУТАМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДАВЛЕНИЯ

*Д. В. КОНДРАТОВ*

*Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук (ИПТМУ РАН),  
г. Саратов*

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н. Г. Чернышевского, Российская Федерация*

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А., Российская Федерация*

*И. В. ПЛАКСИНА, Ю. Н. КОНДРАТОВА*

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н. Г. Чернышевского, Российская Федерация*

В современном транспорте активно применяются различные конструкции, взаимодействующие с вязкой несжимаемой жидкостью. При помощи таких конструкций активно изучается проблема конструкционной прочности механических систем, взаимодействующих с вязкой жидкостью при вибрационных нагрузках [1, 2].

Рассмотрим механическую систему, представленную на рисунке 1.

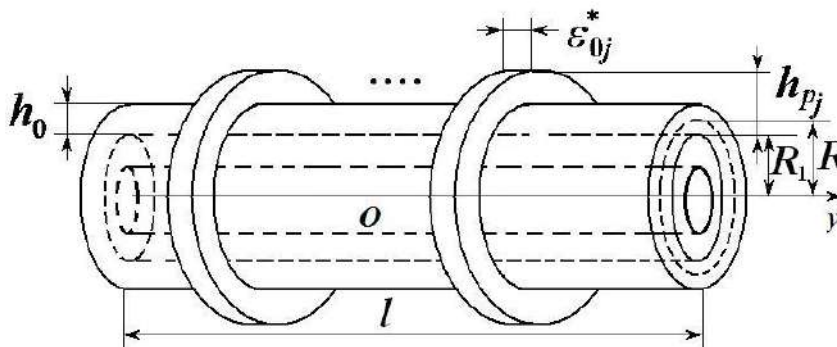


Рисунок 1 – Механическая модель

Рассматривается ламинарное течение вязкой несжимаемой жидкости в круглой трубе кольцевого сечения, образованного поверхностями соосных цилиндрических оболочек, причем внешняя оболочка является упругой геометрически нерегулярной, а внутренняя – геометрически регулярной.

ной. Движение происходит под действием переменного по времени перепада давления. Перемещение внутренней оболочки относительно внешней на торцах отсутствует. Механическая система считается термостабилизированной. Внешняя поверхность внешней оболочки является геометрически нерегулярной и имеет  $n$  ребер жесткости ступенчато изменяющейся высоты, которые будут описываться с помощью разности функций Хэвисайда. Ребра представляют собой внешние шпангоуты, высота  $j$ -го ребра равна  $h_{pj}$ . Будем считать ребра жесткости бесконечно тонкими. Геометрически нерегулярная оболочка на торцах имеет свободное опирание. Решается задача определения АЧХ внешней оболочки.

Математическая модель состоит из связанной системы уравнений динамики оболочек, уравнений динамики вязкой несжимаемой жидкости и соответствующих граничных условий. Задача решается комбинацией аналитических и численных методов: уравнения гидродинамики решаются аналитическими методами, а получившиеся в дальнейшем уравнения динамики упругих соосных оболочек – численными. Применяя описанный в [4] подход, получим систему линейных алгебраических уравнений, которая требует аналитического решения. Конечно, можно перейти к численному решению, но тогда, даже зная все параметры, невозможно определить АЧХ.

Процесс параллельных вычислений будем осуществлять в символьном виде с использованием Maple. Предварительные эксперименты показали, что значимая задержка по времени при вычислениях происходит из-за возникновения коэффициентов, описывающих геометрическую нерегулярность, и использования разности функций Хэвисайда. Данная проблема была реализована при дополнительном распараллеливании таких вычислений. Это позволило увеличить эффективность и скорость параллельных вычислений примерно на 20 % при увеличении числа ребер жесткости. Тестирование производили на одном и том же компьютере без учета времени загрузки программного обеспечения. Оценка для задачи гидроупругости для представленной задачи по закону Закона Густафсона – Барсиса составила 2,4. То есть при последовательной программе скорость выполнения была бы в 2,4 раза больше по времени. Формирование единого вычислительного комплекса в Maple в значительной степени дает более широкие возможности для дальнейшего применения модели в научных исследованиях. Предложенный метод для решения задачи гидроупругости с использованием параллельных вычислений, автоматизирующий его проблемно-ориентированный комплекс, может быть основой для других научных исследований в области гидроупругости.

#### Список литературы

- 1 **Кондратов, Д. В.** Математическое моделирование ламинарного движения жидкости в упругой цилиндрической трубе кольцевого профиля со свободным опиранием по торцам / Д. В. Кондратов, Ю. Н. Кондратова, Л. И. Могилевич // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 1, № 1 (37). – С. 33–40.
- 2 **Вельмисов, П. А.** Математическое моделирование в задачах динамики виброударных и аэроупругих систем / П. А. Вельмисов, В. К. Манжосов. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 204 с.
- 3 **Кондратов, Д. В.** Гидроупругость силового цилиндра с полым плунжером при свободном истечении жидкости / Д. В. Кондратов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2008. – № 1. – С. 38–43.
- 4 Параллельные вычисления в задачах гидроупругости соосных оболочек / О. В. Елистратова, Д. В. Кондратов, И. В. Плаксина, Ю. Н. Кондратова // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 129–130.
- 5 **Романский, С. О.** Высокопроизводительные вычисления : учеб. пособие / С. О. Романский. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2019 – 104 с.

УДК 691.419:539.41

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ПАКЕТА СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ИХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*И. Е. КРАКОВА, О. И. ЦЫГАНОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Трехслойные строительные панели, широко используемые в строительной отрасли, представляют собой конструкции, которые состоят из двух внешних слоев и внутреннего слоя, обеспечиваю-