

пределение индекса разрушения (характеристика, связанная с запасом прочности) по различным критериям разрушения применительно к ПКМ. Расчет проведен по критериям Puck, Hashin, LaRC (Langley Research Center). Считается, что разрушение наступает, когда индекс разрушения становится равным единице. Определены продольные растягивающие напряжения и напряжения сдвига в плоскости листа для соответствующих монослоев панели с дефектом эллиптической формы и неповрежденной панели (в различные моменты времени). Показано изменение прогиба в монослое с дефектом (поврежденная панель), сотовом заполнителе и в неповрежденной панели в зависимости от времени. Проведен параметрический анализ. Выработаны практические результаты.

УДК 531.383

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ГИДРОУПРУГОСТИ СООСНЫХ ОБОЛОЧЕК

О. В. ЕЛИСТРАТОВА

*Поволжский институт управления им. П. А. Столыпина – филиал РАНХиГС,
г. Саратов, Российская Федерация*

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,*

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина, 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. В таких конструкциях изучается проблема конструкционной прочности механических систем, взаимодействующих с вязкой жидкостью при вибрационных нагрузках [1, 2]. Уже разработано значительное число математических моделей, описывающих динамическое поведение механической системы, в которой взаимодействуют упругие тонкостенные конструкции с вязкой жидкостью (рисунок 1).

Рассмотрим механическую систему, состоящую из трех соосных упругих цилиндрических оболочек, свободно опираемых на концах при вибрации или перепаде давления на концах [3]. Пространства между оболочками заполнены вязкими несжимаемыми жидкостями, которые могут быть различными. Внутренняя оболочка является полой [3].

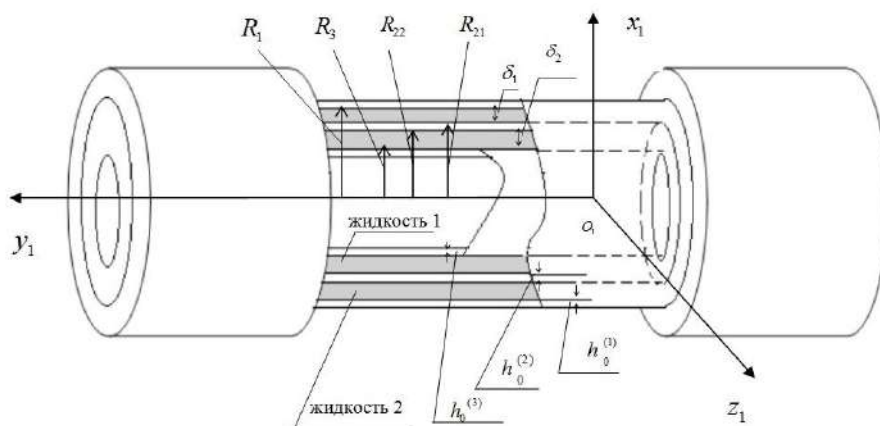


Рисунок 1 – Механическая модель

Математическая модель состоит из связанной системы уравнений динамики оболочек, уравнений динамики вязких несжимаемых жидкостей и соответствующих граничных условий. Задача решается комбинацией аналитических и численных методов, а именно, решение уравнений гидродинамики решается аналитическими методами, а получившиеся в дальнейшем уравнения динамики упругих соосных оболочек – численными. Уравнения динамики вязкой несжимаемой жидкости линеаризуются методом возмущений, а далее решаются аналитически при условии неизвестности прогибов оболочек. Для решения уравнений динамики оболочек применяется метод Бубнова – Галеркина. Даже применение такой комбинации методов оставляют высокую вычислительную сложность решаемой задачи. Так, например, для задачи с перепадом давления на концах механической системы получающаяся после применения метода Бубнова – Галеркина [3, 4] система линейных алгебраических уравнений состоит из 36 уравнений, а если задача с вибрацией, то система из 42 уравнений. Конечно, такие системы уравнений достаточно тяжело решаются аналитически. Поэтому можно решать их с помощью параллельных вычислений [5, 6]. Применение современных языков программирования в значительной степени упрощает распараллеливание. Так, например, язык Python позволяет достаточно хорошо распараллелить вычисления. Кроме того, так как основные аналитические вычисления проводились в Maple, то актуальным вопросом становится применение внутренних инструментов Maple для распараллеливания вычислений.

Предварительные вычислительные эксперименты показали, что применение Python позволяет рассчитать в 1,5–2 раза быстрее, чем Maple. Тестирование производили на одном и том же компьютере без учета времени загрузки программного обеспечения. Однако формирование единого вычислительного комплекса в Maple в значительной степени дает более широкие возможности в дальнейшей применимости модели для научных исследований. Для инженерной практики лучше делать только закрытый комплекс для расчетов с использованием Python или других языков программирования. Исследование математической модели позволяет вычислить прогибы каждой из трех упругих оболочек.

Список литературы

- 1 **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.
- 2 **Вельмисов, П. А.** Математическое моделирование в задачах динамики виброударных и аэроупругих систем / П. А. Вельмисов, В. К. Манжосов. – Ульяновск, 2014. – 204 с.
- 3 **Елистратова, О. В.** Моделирование динамики трех упругих соосных оболочек свободно опертых на концах, взаимодействующих с двумя пульсирующими слоями жидкости, находящихся между ними при пульсации давления / О. В. Елистратова, Д. В. Кондратов // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2016. – № 1. – С. 11–15. – URL: mathmod.esrae.ru/1-2.
- 4 Hydroelastic oscillations of a circular plate, resting on Winkler foundation / D. V. Kondratov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – С. 012057.
- 5 **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.
- 6 **Ежова, Н. А.** Обзор моделей параллельных вычислений / Н. А. Ежова, Л. Б. Соколинский // Вестник ЮУрГУ. Серия Вычислительная математика и информатика. – 2019. – Т. 8, № 3. – С. 58–91.
- 7 Основы параллельного программирования с использованием технологий MPI и OpenMP : учеб. пособие / Р. В. Жалнин [и др.]. – Саранск : Изд-во СВМО, 2013. – 78 с.

УДК 539.3

ОБ УРАВНЕНИЯХ СОВМЕСТИМОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ И ПОСТАНОВКАХ ЗАДАЧ В ОБОБЩЕННЫХ УСИЛИЯХ ТЕОРИИ ОБОЛОЧЕК С ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

С. И. ЖАВОРОНОК

Институт прикладной механики РАН, г. Москва, Российская Федерация

Рассматривается задача о деформировании оболочки, выполненной из сплава с эффектом памяти. Постановка и решение задач как статики, так и потери устойчивости тривиальной формы равновесного состояния тонкостенных элементов конструкций с памятью [1, 2] в обобщенных переме-