

Решение соответствующей задачи Коши с нулевыми начальными условиями проводится численно, либо с помощью преобразования Лапласа.

Ряды (4) заменяется частичными суммами с верхним пределом суммирования, который определяется следующим неравенством:

$$\|f_{N+1,N+1}(x_1, x_2, \tau)\| = \max_{0 \leq x_1 \leq a, 0 \leq x_2 \leq b, \tau \in [0, T]} |f_{N+1,N+1}(x_1, x_2, \tau)| < \varepsilon,$$

где ε – заданная точность, а величина T определяет рассматриваемый диапазон изменения времени.

Рассмотрены примеры расчетов при наличии сосредоточенной в точке (x_{10}, x_{20}) , где $0 < x_{10} < a, 0 < x_{20} < b$, нагрузки следующего вида: $p = \delta(x_1 - x_{10}, x_2 - x_{20})H(\tau), \tilde{m}_{M_1} = \tilde{m}_{M_2} = 0$, где $\delta(x_1, x_2)$ и $H(\tau)$ – дельта-функция Дирака и функция Хевисайда. Материал пластины – композит из алюминиевой дробы в эпоксидной матрице [4].

Список литературы

- 1 **Тарлаковский, Д. В.** Начально-краевые задачи для моментных упругих пластин / Д. В. Тарлаковский, Май Куок Чиен // Проблемы безопасности на транспорте: матер. XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д.: в 2 ч., Гомель, 24–25 ноября 2022 г. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Ч. 2. – С. 262–263.
- 2 **Михайлова, Е. Ю.** Общая теория упругих оболочек : учеб. пособие / Е. Ю. Михайлова, Д. В. Тарлаковский, Г. В. Федотенков. – М. : Изд-во МАИ, 2018. – 112 с.
- 3 **До Нгок Дат.** Действие поперечной нестационарной силы на шарнирно опертую моментную упругую прямоугольную пластину (простейшая модель) / До Нгок Дат, Д. В. Тарлаковский, Г. В. Федотенков // Труды МАИ. – 2024. – № 139. – URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=183451> (дата обращения 10.09.2025).
- 4 **Ерофеев, В. И.** Волновые процессы в твердых телах с микроструктурой / В. И. Ерофеев. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 328 с.

УДК 539.3

ПОСТАНОВКА НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПЛОСКИХ ЗАДАЧ ДЛЯ УПРОЩЕННЫХ МОДЕЛЕЙ МОМЕНТНЫХ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

*Д. В. ТАРЛАКОВСКИЙ, М. Ю. РЯЗАНЦЕВА, А. Ж. ФАРМАНЯН
НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация*

Многие элементы современных инженерных модулей авиакосмической техники, машиностроения, строительной индустрии и т. д. являются тонкостенными конструкциями, выполненными из современных конструкционных материалов, включая различные композиционные материалы. При расчете на прочность таких материалов использование классических моделей приводит к ошибочным результатам, поскольку при этом не учитываются микроструктурные процессы. В ряде случаев более целесообразно использовать моментную теорию упругости, где деформация описывается не только вектором смещения, но и вектором вращения. В работе для тонких круговых цилиндрических оболочек, выполненных из моментного материала, представлена постановка нестационарных задач на основе упрощенной модели [1].

Общая теория динамики тонких моментных упругих оболочек построена в [2].

На основе полученных уравнений движения тонких моментных упругих оболочек постоянной толщины с произвольной гладкой срединной поверхностью построены:

1) уравнения движения изотропной моментной сферической оболочки в усилиях и «перемещениях» (кинематических параметрах), а также, при использовании дополнительных кинематических гипотез, упрощенные модели [3];

2) уравнения движения осесимметричной изотропной тонкой упругой моментной сферической оболочки и упрощенные модели [4];

3) осесимметричная функция влияния для нестационарных колебаний упругой моментной сферической оболочки на основе упрощенной модели [5];

4) уравнения движения для изотропной моментной круговой цилиндрической оболочки в усилиях и «перемещениях» (кинематических параметрах) [1];

5) уравнения осесимметричного движения для изотропной круговой цилиндрической оболочки в усилиях и «перемещениях» (кинематических параметрах) [6].

Построенная модель движения тонкой упругой моментной круговой цилиндрической оболочки в усилиях и «перемещениях» (кинематических параметрах) [1] содержит 12 уравнений относительно 12 неизвестных. Естественные граничные условия ставятся на торцевых сечениях круговой цилиндрической оболочки. При использовании дополнительных гипотез (аналогичных классическим гипотезам теории тонких оболочек) построены упрощенные модели, при этом двенадцать разрешающих уравнений сокращаются до шести уравнений движения в кинематических параметрах, записанных в операторном виде.

Для перехода к уравнениям плоского движения полагаем, что искомые функции зависят только от угловой координаты. В результате получены необходимые ограничения на поля перемещений, что приводит к нулевому значению некоторых кинематических параметров и параметров внешней нагрузки. В этом случае модель из шести уравнений сводится к трем уравнениям относительно трех неизвестных.

Список литературы

1 **Тарлаковский, Д. В.** Начально-краевые задачи для моментных упругих круговых цилиндрических оболочек / Д. В. Тарлаковский, А. Ж. Фарманян // Вестник Московского университета. Сер. 1: Математика. Механика. – 2025. – № 4. – С. 36–43.

2 **Quoc Chien Mai.** Generalized Linear Model of Dynamics of Elastic Moment Shells / Quoc Chien Mai, M.Yu. Ryazantseva, D. V. Tarlakovskii // Advanced Structured Materials. V.186. Deformation and Destruction of Materials and Structures under Quasi-static and Impulse Loading. Springer Nature Switzerland AG. – 2020. – P. 159–171.

3 **Тарлаковский, Д. В.** Уравнения движения изотропной сферической моментной упругой оболочки / Д. В. Тарлаковский, А. Ж. Фарманян, У. С. Гафуров // Проблемы прочности и пластичности, 2024. – Т. 86, № 2. – С. 168–181.

4 **Тарлаковский, Д. В.** Осесимметричная нестационарная динамика упругих моментных сферических оболочек / Д. В. Тарлаковский, А. Ж. Фарманян // Проблемы прочности и пластичности, 2025. – Т. 87, № 3. – С. 273–284.

5 **Рязанцева, М. Ю.** Упрощенные модели нестационарных осесимметричных колебаний упругой моментной сферической оболочки / М. Ю. Рязанцева, Д. В. Тарлаковский, А. Ж. Фарманян // Проблемы механики современных машин. Сер. 1 : IX Междунар. конф. / Восточно-Сибирский гос. ун-т технологий и управления, Уханьский текстильный ун-т. – Улан-Удэ : ВСГУТУ, 2025. – Т. 1. – С. 45–56.

6 **Yu, M.** Equations of axisymmetrical and plane motion of moment elastic circular cylindrical shells / M. Yu. Ryazantseva, D. V. Tarlakovskii, A. Jh. Farmanyan // AIP Conference Proceeding. – 2025. – P. 136–146.

УДК 536.24

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

О. В. ТУШАВИНА

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Исследование посвящено разработке теоретических и экспериментальных методов проектирования тепловой защиты (ТЗ) в условиях аэродинамического нагрева высокоскоростных летательных аппаратов (ВЛА) в плотных слоях атмосферы.

Для достижения поставленных целей необходимо изучить современное состояние проблемы, а также сформулировать проблемные задачи проектирования и разработки тепловой защиты высокоскоростных летательных аппаратов:

- поиск оптимального аэродинамического качества ВЛА. Выбор типа силовой двигательной установки и ее интегрирование с планером;
- краткий анализ поиска схемы и конструкции силовой установки для проектирования ВЛА с оптимальным аэродинамическим качеством;
- концепция проектирования ВЛА с прямоточным воздушно-реактивным двигателем;
- изучение проблемы проектирования системы тепловой защиты планера высокоскоростных летательных аппаратов;