

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 (НИИ), 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;

- анализ характеристик интегрированной схемы ВЛА: планер + прямоточный воздушно-реактивный двигатель;
- создание методологии проектирования систем тепловой защиты ВЛА разного стратегического назначения;

Далее необходимо решить задачу о исследовании аэродинамического нагрева высокоскоростного летательного аппарата при полете в плотных слоях атмосферы, где определяются основные физико-химические процессы при аэродинамическом нагреве высокоскоростных ЛА и проводится анализ химического состояния многокомпонентного воздуха в пограничном слое при полёте ВЛА на разных скоростях и высотах.

Итогом работы является создание общей математической модели процессов термодинамики и тепло-массообмена в химически активном пограничном слое с учетом каталитической активности поверхности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант РНФ № 23-19-00684), выданного Московскому авиационному институту.

УДК 539.3; 539.4

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СТАБИЛЬНОСТЬ УПРУГОПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННЫХ УГЛЕКОМПОЗИТОВ ПРИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

С. В. ШИЛЬКО, Т. В. ДРОБЫШ, А. П. САЗАНКОВ

Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель

С. И. РОМАНОВИЧ

ОАО «Пеленг», г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрена проблема обеспечения стабильности механических характеристик высокопрочных и высокомодульных полимерных композиционных материалов (ПКМ), используемых в космической технике. По данному критерию исследована стойкость к физико-химическому воздействию космической среды (гамма-излучению и атомарному кислороду) двух ПКМ, единообразно однонаправленно армированных углеродными волокнами, но различающихся по виду термореактивного связующего. Проведенные испытания на одноосное растяжение показали, что характер изменения предела прочности и модуля упругости изученных углекомполитов под действием вышеназванных факторов зависит от применяемого связующего, вида воздействия и направления нагружения по отношению к ориентации армирующих волокон. Практическая значимость результатов состоит в обеспечении прочности и формостабильности композитных изделий аэрокосмического назначения.

Применение полимерных композиционных материалов в конструкциях ракетно-космической техники обусловлено их высокими удельными (по отношению к плотности) механическими характеристиками [1]. Однако эксплуатация этой техники на низких орбитах сопряжена с высокоэнергетическим физико-химическим воздействием факторов космической среды, включая ионизирующее излучение и атомарный кислород. Ранее проведенные исследования [2–4] показали, что влияние указанных воздействий на ПКМ неоднозначно, поскольку может вызывать как его разупрочнение вследствие деградации структуры, так и упрочнение благодаря формированию в полимерном связующем дополнительных межмолекулярных связей. Важно оценить степень таких изменений для конкретных ПКМ с учетом вида связующего и направления нагружения по отношению к направлению армирования.

Цель работы – оценка стабильности механических свойств высокопрочных однонаправленных полимерных углекомполитов при дифференцированном воздействии атомарного кислорода и гамма-квантового излучения.

Материалы и методы. На одноосное растяжение было испытано 16 серий образцов двух углекомполитов (№ 1 и 2) с аналогичной структурой (вид волокна, степень наполнения), но с разным связующим. Серии включали контрольные (К) и экспериментальные (Э) образцы до и после дифференцированного воздействия гамма-излучения и атомарного кислорода соответственно.