

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПЛИТОК, ЛЕЖАЩИХ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ТЕРМОСИЛОВЫХ НАГРУЗОК

О. В. ТУШАВИНА

Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

Построена математическая модель, позволяющая определить напряженно-деформированное состояние керамической плиточной конструкции из композиционного материала с учетом образования жидкости при повышенных температурах или льда, образовавшегося в межплиточных зазорах в процессе обледенения. В результате исследований получены значения прогиба, сдвига и нормальных напряжений в конструкции, что необходимо для расчёта прочности и работоспособности плиточной тепловой защиты на активных этапах полёта космического летательного аппарата.

Поставленная задача моделируется краевой задачей о деформировании круговой композитной пластины, связанной с упругим основанием. Учтено воздействие температурного поля. Материал пластины моделируется трехслойным композитом с легким наполнителем. Для описания кинематики несимметричного по толщине пакета пластины приняты гипотезы ломаной нормали. В тонких несущих слоях справедливы гипотезы Кирхгофа. В относительно толстом наполнителе нормаль не изменяет своей длины, остается прямолинейной, но поворачивается на некоторый дополнительный угол. Реакция основания описывается моделью Винклера. Получена система уравнений равновесия и ее решение в перемещениях. Проведен численный параметрический анализ решения.

Работа обусловлена необходимостью изучения напряженно-деформированного состояния и прочности теплозащитных плиток при обледенении является одним из важнейших при хранении и транспортировке изделия в открытых атмосферных условиях, так как содержащаяся в порах теплоизоляции влага при замерзании образует значительные усилия, способные не только повредить, но и разрушить систему тепловой защиты, затем при аэродинамическом нагреве в полете такое повреждение может вызвать аварийную ситуацию или полное разрушение космического аппарата. Поэтому необходимость изучения напряженно-деформированного состояния и прочности теплозащитных плиток при обледенении является одним из важнейших при хранении и транспортировке изделия в открытых атмосферных условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного проекта Министерства образования и науки РФ код проекта FSFF-2020-0016.

ОБРАТНАЯ НЕСТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА ПО ИДЕНТИФИКАЦИИ НАГРУЗКИ ДЛЯ БАЛКИ ТИМОШЕНКО КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ

Г. В. ФЕДОТЕНКОВ, Я. А. ВАХТЕРОВА

Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация

Основной целью исследований является получение решений новых нестационарных обратных задач для упругих стержней. Задачей данного исследования является разработка и реализация новых методов, подходов и алгоритмов решения нестационарных обратных задач механики стержней.

Рассматривается упругий однородный изотропный стержень конечной длины, левый конец которого жестко закреплен, правый конец стержня свободный. В начальный момент времени на стержень начинает воздействовать распределенная нестационарная нагрузка, зависимость которой от времени и закон распределения по координате неизвестны и подлежат определению в

процессе решения обратной задачи. Предполагается, что в некоторой окрестности свободного конца стержня перемещения известны. На практике эта информация может поступать с датчиков измерения продольных перемещений, установленных в нескольких сечениях в окрестности свободного конца стержня. Для построения метода решения обратной задачи требуется сначала получить решения прямой задачи, в которой осевая нагрузка известна и требуется определить нестационарные перемещения для упругого стержня. В основу методики решения прямой задачи положен принцип суперпозиции [1], при котором перемещения и контактные напряжения связаны посредством интегральных операторов по пространственной переменной и времени. При этом ядрами последних являются так называемые функции влияния. Эти функции представляют собой фундаментальные решения систем дифференциальных уравнений движения исследуемой балки. Их построение представляет собой отдельную задачу. Функции влияния находятся с помощью преобразования Лапласа по времени и разложений в ряды Фурье по системе собственных функций.

В обратных задачах не задана правая часть в уравнениях нестационарных колебаний, но зато имеется некоторая информация о перемещениях в точках установки датчиков. С применением метода функций влияния обратная задача сводится к решению системы интегральных уравнений типа Вольтера I-го рода по времени относительно коэффициентов разложения искомой нагрузки в ряд Фурье по системе собственных функций. Для решения интегральных уравнений используется метод механических квадратур в сочетании с алгоритмом регуляризации Тихонова [2–6]. Исследованы возможности применения предложенного метода идентификации при наличии зашумленности измерений.

Следует отметить, что наряду с множеством работ, направленных на решение теоретически и практически важных прямых задач для тонкостенных элементов конструкций, например, работы [7] – [12], в том числе, с учётом воздействия температуры, анизотропии материала, многослойности строения элементов, практически отсутствуют публикации, посвящённые решению нестационарных обратных задач. Это обуславливает актуальность тематики данной работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 20-38-90043).

Список литературы

- 1 Волны в сплошных средах / А. Г. Горшков [и др.]. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 472 с.
- 2 **Вахтерова, Я. А.** Обратная задача об идентификации нестационарной нагрузки для балки Тимошенко / Я. А. Вахтерова, Е. В. Серпичева, Г. В. Федотенков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 4. – С. 82–92.
- 3 **Fedotenko, G. V.** Identification of non-stationary load upon Timoshenko beam / G. V. Fedotenko, D. V. Tarlakovsky, Y. A. Vahterova // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2019. – Vol. 40, no. 4. – P. 439–447. – DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995080219040061>.
- 4 **Hadamard, J.** Le probleme de Cauchy et les equations aux derivers particee lineaires hyperbolique / J. Hadamard. – Paris : Hermann, 1932.
- 5 **Тихонов, А. Н.** Методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – 2-е изд. – М. : Наука: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. – С. 285.
- 6 Численные методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов [и др.]. – М. : Наука, 1990. – С. 232.
- 7 **Маркова, Е. В.** Численные методы решения неклассических линейных уравнений Вольтерра I рода и их приложения / Е. В. Маркова. – Иркутск, 1999. – С. 100.
- 8 **Старовойтов, Э. И.** Влияние жесткости основания Пастернака на деформирование круговой трёхслойной пластины / Э. И. Старовойтов, А. Г. Козел // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2019. – № 2. – С. 25–35.
- 9 **Okonechnikov, A. S.** Transient Interaction of Rigid Indenter with Elastic Half-plane with Adhesive Force / A. S. Okonechnikov, D. V. Tarlakovsky, G. V. Fedotenko // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2019. – Vol. 40, no. 4. – P. 489–498. – DOI: [10.1134/S1995080219030132](https://doi.org/10.1134/S1995080219030132).
- 10 **Lokteva, N. A.** Analysis of vibration insulation properties of a plate in an elastic medium under the influence of different types of waves / N. A. Lokteva, D. V. Tarlakovskii // Proceedings of the Second International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics. – Structural Integrity. – Springer Nature Switzerland AG 2019. – 2019. – P. 298–303. – DOI: [10.1007/978-3-030-21894-2_55](https://doi.org/10.1007/978-3-030-21894-2_55).
- 11 **Lokteva, N. A.** Interaction of a Spherical Wave with a Rectangular Plate in a ground / N. A. Lokteva, D. V. Tarlakovskii // Recent Developments in the Theory of Shells. – Vol. 110 of Advanced Structured Materials. – Springer Nature Switzerland AG 2019. – 2019. – P. 443–458. – DOI: [10.1007/978-3-030-17747-8_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-17747-8_23).
- 12 Transient reaction of an elastic half-plane on a source of a concentrated boundary disturbance / A. S. Okonechnikov [et al.] // IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 158(1). – doi:[10.1088/1757-899X/158/1/012073](https://doi.org/10.1088/1757-899X/158/1/012073).