

# Моделирование деформированного состояния прямоугольной пластины при температурном ударе

А.С. Николаева

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

**Обоснование.** При движении космического аппарата (КА) по орбите возникает явление температурного удара панелей солнечных батарей (ПСБ) аппарата. Данное явление объясняется появлением теплового потока при перемещении КА из тени Земли на участок орбиты, освещенный Солнцем, или, наоборот, исчезновением этого потока при переходе из солнечного участка на теневой. Результатом температурного удара является деформация элементов конструкции КА, что в свою очередь приводит к возмущению его движения. Так, в работах [1–3] обсуждаются последствия данного явления. Авторы отмечают, что температурный удар приводит к колебаниям ПСБ, а также к снижению точности наведения аппаратуры при проведении дистанционного зондирования Земли. Таким образом, актуальность проблемы состоит в исследовании возмущающих факторов движения от температурного удара с целью качественного выполнения целевых задач, поставленных перед КА.

**Цель** — построить численное решение задачи термоупругости однородной тонкой пластины в двумерной постановке задачи.

**Методы.** Вследствие нелинейности граничных условий задачи, поставленной в работе [4], аналитические методы решения неприменимы. Поэтому моделирование проводилось в расчетном модуле DesignSimulation среды ANSYS Workbench. В качестве модели ПСБ использовалась трехслойная пластина.

В работе рассматривается двумерная постановка задачи теплопроводности, которая позволяет учитывать начальный прогиб пластины. Если он невелик, то задача сводится к одномерной. В работе авторов [5] описаны критерии двумерности задачи.

Граничные условия в среде ANSYS задаются с помощью закрепления StructuralSupport, накладывающего ограничения степеней свободы, которые исключают движение. Исследования проводились при разных вариантах закрепления. В первом случае исключались перемещения в заделке вдоль осей  $x$ ,  $y$  и  $z$ , но не накладывались ограничения на их поворот и расширение. Данный случай соответствует более мягкому закреплению, чем предполагается в уравнениях. Во втором случае ограничения накладывались на все степени свободы пластины в заделке.

**Результаты.** Полученные результаты в зависимости от закрепления в среде ANSYS можно разделить на два типа. В качестве результатов приведен прогиб точек пластины, показанный на рисунке 1. В первом случае для двумерной модели термоупругости наблюдаются схожие результаты с одномерной моделью. Также стоит отметить, что при уменьшении начального прогиба пластины двумерная модель качественно стремится к одномерной модели. При реализации второго типа закреплений происходит потеря устойчивости

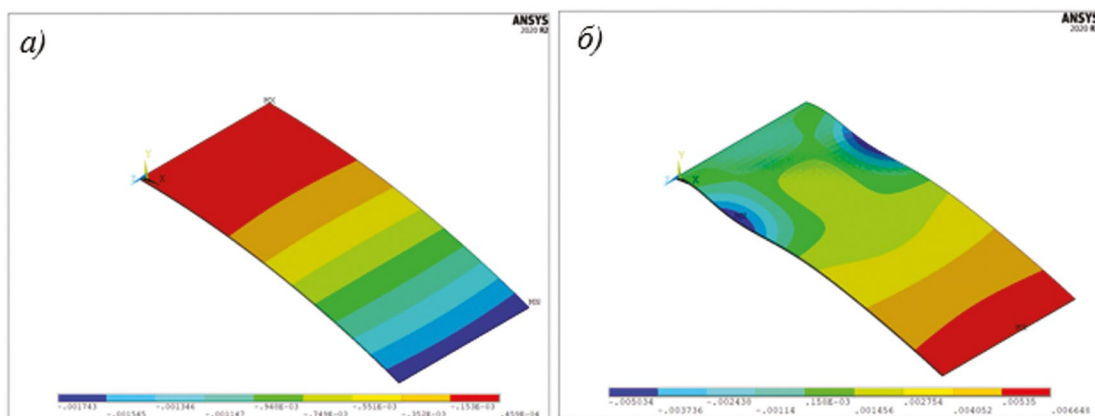


Рис. 1. Прогиб точек пластины, соответствующий: *а* — первому типу закреплений; *б* — второму типу закреплений [6]

пластины. При  $x = 0,25 l$  пластина теряет свою первоначальную плоскую форму. Потеря устойчивости происходит из-за превышения критических напряжений по устойчивости.

**Выводы.** Таким образом, в работе были поставлены двумерная задача теплопроводности и соответствующая ей задача термоупругости. Получены численные решения двух типов в зависимости от геометрических граничных условий: с потерей и без потери устойчивости.

**Ключевые слова:** температурный удар; прогиб точек пластины; однородная тонкая пластина; потеря устойчивости.

### Список литературы

1. Shen Z., Hu G. Thermally induced dynamics of a spinning spacecraft with an axial flexible boom // J Spacecraft Rockets. 2015. Vol. 52, N 5. P. 1503–1508. doi: 10.2514/1.A33116
2. Shen Z., Tian Q., Liu X., Hu G. Thermally induced vibrations of flexible beams using absolute nodal coordinate formulation // Aerosp Sci Technol. 2013. Vol. 29, N 1. P. 386–393. doi: 10.1016/j.ast.2013.04.009
3. Johnston J.D., Thornton E.A. Thermally induced attitude dynamics of a spacecraft with a flexible appendage // J Guid Control Dyn. 1998. Vol. 21, N 4. P. 581–587. doi: 10.2514/2.4297
4. Sedelnikov A., Serdakova V., Orlov D., Nikolaeva A. Investigating the temperature shock of a plate in the framework of a static two-dimensional formulation of the thermoelasticity problem // Aerospace. 2023. Vol. 10, N 5. ID 445. doi: 10.3390/aerospace10050445
5. Sedelnikov A.V., Serdakova V.V., Khnyreva E.S. Construction of the criterion for using a two-dimensional thermal conductivity model to describe the stress-strain state of a thin plate under the thermal shock // Microgravity Sci Tech. 2021. Vol. 33, N 6. ID 65. doi: 10.1007/s12217-021-09912-5
6. Orlov D., Serdakova V., Evtushenko M., et al. Investigating the Features of Various Plate Models Under the Thermal Shock in the ANSYS Package. В кн.: XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022". INTERAGROMASH 2022. Lecture notes in networks and systems. Vol. 574 / Beskopylny A., Shamtsyan M., Artiukh V., editors. Springer, Cham, 2023. P. 3085–3093. doi: 10.1007/978-3-031-21432-5\_340

### *Сведения об авторе:*

**Александра Сергеевна Николаева** — студентка, группа 1135-010403D, факультет теоретической механики; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: ezhevichka333@gmail.com

### *Сведения о научном руководителе:*

**Андрей Валерьевич Седельников** — доктор технических наук, доцент; профессор кафедры теоретической механики; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: axe\_backdraft@inbox.ru