

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ В КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ ПОД СВЧ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

*М. А. БАРУЛИНА*

*Институт проблем точной механики и управления  
Российской академии наук (ИПТМУ РАН), г. Саратов  
Пермский государственный национальный исследовательский университет*

*Д. В. КОНДРАТОВ*

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,  
Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук (ИПТМУ РАН);  
Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н. Г. Чернышевского*

*Н. В. БЕКРЕНЕВ*

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,  
Российская Федерация*

*И. В. ЗЛОБИНА*

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А.,  
Курчатовский институт, г. Москва, Российская Федерация*

Активное использование полимерных композиционных материалов (ПКМ) в различных областях техники делает актуальным изучение их свойств как самостоятельных компонентов устройств и их совместную работу с другими деталями, в контакте с которыми детали из композитов находятся во время работы [1–6]. Известно, что ПКМ обладают высокими физико-механическими характеристиками, которые в большой степени зависят от состава и метода изготовления материала. Кроме этого, значительный вклад в формирование свойств композитов вносит характерная для них анизотропия. В свою очередь это обуславливает особенности работы с такими материалами и их способность воспринимать не только механические нагрузки, но и тепловые воздействия, что характеризует их теплофизические характеристики. Одним из механизмов, препятствующих быстрой передаче тепла, является отсутствие монолитности и однородности ПКМ на микроуровне. Соответственно, методы, направленные на повышение адгезионного взаимодействия связующего и наполнителя, могут способствовать выравниванию распространения тепловых полей внутри объекта из композита.

Для выяснения тепловых и волновых эффектов, влияющих на композитный материал, будем на первом этапе проводить исследования единичного волокна. Таким образом, будем ставить теоретическую задачу на основе результатов эксперимента.

Был проведен натурный эксперимент по СВЧ нагреву опытного образца единичного волокна композитного материала, состоящего из внешнего слоя эпоксидной смолы с внутренним сердечником из графита или стекла. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 1.

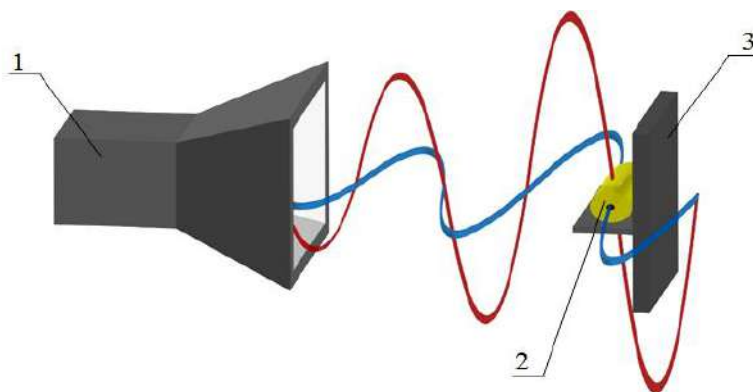


Рисунок 1 – Схема проведения обработки образца:  
1 – рупорный излучатель; 2 – обрабатываемый образец; 3 – стойка для размещения образца

Полученное тепловое поле нагрева указанного композитного материала позволило сформулировать требования к математической модели для описания поведения нагрева материала [7], а также построить математическую модель, не связанную задачей термоупругости, т. е. сначала определяется распределение и изменение температуры в волокне, а на втором этапе, используя полученную температуру как входной параметр, находятся напряжения и перемещения. На основе решения поставленной задачи было получено аналитическое решение, что позволяет определить распределение и изменение температуры в волокне. Построена вычислительная программа на основе полученного решения изменения температуры в волокне, результаты вычисления которой качественно совпали с результатами эксперимента. Далее планируется исследование упругих напряжений и перемещений в волокне.

Таким образом, на основе результатов эксперимента была предложена начальная математическая модель, представляющая собой несвязанную задачу термоупругости, которая позволит определить распределение и изменение температуры в волокне. Проведены расчеты по построенной математической модели. Применение композитных материалов повысит надежность и снизит повреждаемость при транспортировке за счет повышения ударной вязкости; повысит долговечность за счет повышенной стойкости к воздействию температурных, химических и механических факторов внешней среды. Рассматриваемые композитные материалы могут применяться как несущие элементы и внешние панели строительных конструкций (здания и путепроводы, лотки кабелей электроподстанций), каркасные элементы и элементы обшивки авиационной техники; строительные конструкции наземной транспортной инфраструктуры (путепроводы, внешние обшивки сооружений).

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 23-29-00526.*

#### Список литературы

- 1 Кошкин, Р. П. Основные направления развития и совершенствования беспилотных авиационных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://spmagazine.ru/420>. – Дата доступа : 28.01.2017.
- 2 Каблов, Е. Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники / Е. Н. Каблов // Вестник Российской академии наук. – 2012. – Т. 82, № 6. – С. 520–530.
- 3 Ким, С. Сырье → композиты → углеволокно / С. Ким // The Chemical Journal. – 2014. – С. 64–73.
- 4 Zlobina, I. V. The effect of processing in a SHF electromagnetic field on the parameters of vibro-wave processes generated by the impact of a solid body in cured polymer composite materials under influence of climate factors / I. V. Zlobina // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia. – 2020. – P. 42045.
- 5 Analytical solution for bending and free vibrations of an orthotropic nanoplate based on the new modified couple stress theory and the third-order plate theory / M. Barulina [et al.] // Journal of Mathematical and Fundamental Sciences. – 2022. – Vol. 54, no 1. – P. 11–38. – DOI : 10.5614/j.math.fund.sci.2022.54.1.2.
- 6 Mathematical modeling of hydroelastic interaction between stamp and three-layered beam resting on Winkler foundation / A. Chernenko [et al.] // Studies in Systems, Decision and Control. – 2019. – Vol. 199. – P. 671–681. – DOI : 10.1007/978-3-030-12072-6\_54.
- 7 Principles of constructing a mathematical model of thermal heating of a composite under microwave exposure / D. V. Kondratov [et al.] // AIP Conf. Proc., 6 July 2023; 2999 (1): 020044. – DOI : <https://doi.org/10.1063/5.0158357>.

УДК 534.01

### К ТЕОРИИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*А. Н. БОГДАНОВ*

*НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, Российская Федерация*

Развитие нестационарных процессов в механических системах – как правило, негативное явление, которое может представлять не только серьезную опасность для работы в штатном режиме, но и в целом для их существования. Одним из самых опасных процессов такого рода является развитие околорезонансных колебаний аппарата или его частей в движении. Конкретные причины их возникновения могут быть различными.