

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.

Околорезонансные колебания возникают при близости частоты внешних возмущений, вызываемых тем или иным способом, к частоте возможных собственных колебаний механической системы. Определяющая процесс связь может быть неожиданно нетривиальной и условия для ее проявления созданы непреднамеренно. Одним из примеров такого рода является так называемый земной резонанс вертолетов [1].

Колебательные процессы могут представлять собой несколько различных, протекающих одновременно и находящихся в нелинейной связи друг с другом процессов.

Актуальной задачей является выяснение взаимодействия движущегося тела с окружающей средой [2]. Математическое моделирование процессов такого рода приводит к интересным задачам теории сингулярных возмущений [3].

Наиболее часто колебательные процессы развиваются в переходных режимах. При некоторых условиях возможно развитие автоколебаний – самоподдерживающегося процесса, продолжающегося и после прекращения действия вынуждающей силы [4].

#### Список литературы

- 1 Ганиев, Р. Ф. Нелинейные резонансы и катастрофы. Надежность, безопасность и бесшумность / Р. Ф. Ганиев. – М. : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2013. – 592 с.
- 2 Богданов, А. Н. Околорезонансные колебания в технике. Аэродинамический аспект / А. Н. Богданов // Проблемы механики и управления : материалы Междунар. конф. – М. : Изд-во Московского ун-та, 2018. – С. 105–106.
- 3 Коул, Дж. Методы возмущений в прикладной математике / Дж. Коул. – М. : Мир, 1972. – 274 с.
- 4 Богданов, А. Н. Моделирование вынужденных релаксационных колебаний газа в канале переменного сечения / А. Н. Богданов // Математическое моделирование. – 1994. – Т. 6, № 1. – С. 69–85.

УДК 656.22

### К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ «ОКОН»

*Р. С. БОЛЬШАКОВ, Г. И. СУХАНОВ, А. В. СУПРУНОВСКИЙ*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Подразделения железнодорожного транспорта различных уровней в постоянном режиме решают оперативные задачи по обеспечению движения поездов, что нередко осложняется возникновением нештатных ситуаций, связанных с увеличением поездопотока. Это, в свою очередь, инициирует внимание к проблемам использования существующей пропускной способности, методов её увеличения, в том числе с учетом оптимального распределения локомотивного парка в увязке тяговых плеч со временем работы локомотивных бригад [1–5]. В этом направлении также актуальным является ориентация на применение специализированных пакетов прикладных программ [6], позволяющих производить моделирование работы железнодорожного транспорта для выбора оптимальных вариантов использования этих объектов инфраструктуры. Также важными остаются вопросы планирования проведения ремонтно-строительных работ, так как большие перерывы в движении поездов грозят увеличением потерь перевозочных процессов. Планирование технологических перерывов в данный момент является одним из самых востребованных направлений повышения эффективности перевозочных процессов.

В предлагаемом докладе рассматриваются средства повышения эффективности планирования технологических перерывов.

С учетом сформированного директивного плана-графика и на основании оценки оперативной обстановки осуществляется месячное планирование работ для закрытия потребностей в запланированных технологических перерывах, также обязательно участие заказчиков при оценке и согласовании запланированных работ.

Формирование директивного плана-графика необходимо увязывать с оценкой многих факторов, в том числе с объемами перевозок и эффективным взаимодействием подразделений, осуществляющих планирование и реализацию работы в технологические «окна», что инициирует необходимость автоматизации построения директивного плана-графика. Для решения комплекса задач, связанных с автоматизацией планирования «окон» и построения вариантных графиков движения поездов, используются пакеты прикладных программ «ИСУЖТ», «ЭЛЬБРУС» (рисунок 1).