

## НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТРЁХСЛОЙНЫХ СТЕРЖНЯХ

*Е. В. СЕРПИЧЕВА*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

*Г. В. ФЕДОТЕНКОВ*

*Московский авиационный институт (НИИ),*

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

В связи с бурным развитием современных технологий и созданием новых материалов к настоящему времени сформировался достаточно широкий круг задач физики и механики сплошной среды, к которому классические методы решения задач механики деформируемого твёрдого тела в чистом виде неприменимы. Это связано с тем, что в основе классических методов лежит принцип локальности. Он позволяет построить математическую модель исследуемого физико-механического процесса в виде дифференциальных уравнений и дополнительных соотношений в частных производных. Адекватные оценки характеристик таких материалов можно получить при помощи математических моделей сплошной среды с нелокальностью. Создание математических моделей и методов, позволяющих адекватно описывать динамические процессы деформирования неоднородных элементов конструкций, является в настоящее время одной из наиболее актуальных задач механики деформируемого твёрдого тела. Практически все имеющиеся к настоящему времени работы в этой области ограничиваются рассмотрением той или иной части задачи без должного анализа всей физической картины, что в итоге приводит к искажённому описанию процесса, особенно при нагружении элементов конструкций в температурном поле. Аналитический обзор научных работ отечественных и зарубежных учёных показывает, что в настоящее время отсутствуют обобщённые модели термоупругости для трёхслойных стержней, балок и пластин. Практически не исследованы динамические и нестационарные задачи обобщённой термоупругости для трёхслойных стержней.

В настоящей статье разрабатываются новые нелокальные теории термоупругости для трёхслойных стержней с учётом конечной скорости распространения тепла, релаксации тепловых потоков, а также эффектов временной и пространственной нелокальности с целью проведения теоретических исследований параметров колебаний и переходных процессов в неоднородных трёхслойных стержнях с усложнёнными свойствами при термосиловых нагрузках. Для получения решения нового класса динамических и нестационарных задач термоупругости для трёхслойных стержней с усложнёнными свойствами разрабатываются методы и оригинальные алгоритмы решения задач обобщённой термоупругости трёхслойных элементов конструкций.

Для достижения поставленных целей использован подход Эрингена к описанию нелокальной среды, а также последние достижения в области теплопроводности, базирующиеся на обобщённых теориях Лорда – Шульмана, Грина – Линдси, Грина – Нагди и Мура – Гибсона – Томпсона [1–6]. Вывод уравнений движения элементов конструкций в температурном поле проводится вариационными методами, при этом для трёхслойных стержней принимаются кинематические гипотезы прямой нормали с гипотезами Кирхгофа и Тимошенко для несущих слоев и заполнителя соответственно. Аналитические решения начально-краевых задач предлагается получать методом разложения в ряды по собственным функциям. Для исследования волновых процессов в тонкостенных элементах конструкций с усложнёнными свойствами предполагается использовать общий подход, основанный на принципе суперпозиции и методе функций влияния [7]. Для построения функций влияния решаются отдельные важные в теоретическом и прикладном отношении задачи. При решении практических задач предлагается использование интегральных преобразований Лапласа по времени, Фурье по пространственным координатам, а также разложений в ряды по системам собственных функций. Для построения оригиналов используются как известные аналитические методы обращения интегральных преобразований, так и новые оригинальные методы аналитического обращения. Также предлагается использование эффективных численных методов обращения интегральных преобразований в случаях, когда нет возможности построить оригиналы с помощью аналитических подходов. Для этого предлагается создать оригинальный программный продукт, основанный на исполь-

зовании как известных методов численного обращения преобразования Лапласа (метод Дурбина, Гавера – Стехвеста, Закиана, ускоренный метод Виддера, разложение в ряд Фурье применительно обращению преобразования Лапласа и др.), так и их модификаций. Предполагается, что созданная программа будет, исходя из структуры изображения, автоматически подбирать метод, позволяющий построить оригинал с наилучшей степенью точности. Кроме того, построенный алгоритм будет осуществлять проверку полученного результата путём применения альтернативного метода обращения, а также путём осуществления автоматического контроля практической сходимости результата. При вычислении интегралов типа свёрток предлагается создание и реализация высокоэффективных алгоритмов с применением быстрого преобразования Фурье. Ожидается, что предложенные алгоритмы позволят существенно расширить круг динамических и нестационарных задач обобщённой теории термоупругости, для которых станет возможным получить достоверные результаты расчётов. Для построения решений задач о нестационарных термосиловых воздействиях на тонкостенные элементы конструкций с усложнёнными свойствами разрабатываются оригинальные численно-аналитические методы и алгоритмы. С целью выработки конкретных рекомендаций для практического использования полученных результатов научной работы проводятся параметрические исследования в области динамики трёхслойных стержней с усложнёнными свойствами.

#### Список литературы

- 1 Lord, H. Generalized dynamical theory of thermoelasticity / H. Lord, Y. Shulman // J. Mech. Phys. Solids. – 1967. – Vol. 15. – P. 299–309.
- 2 Green, A. Thermoelasticity / A. Green, K. Lindsay // J. Elast. – 1972. – Vol. 2. – P. 1–7.
- 3 Green, A. A re-examination of the basic postulates of thermomechanics / A. Green, P. Naghdi // Proc. R. Soc. Lond. A. – 1991. – Vol. 432. – P. 171–194.
- 4 Green, A. Thermoelasticity without energy dissipation / A. Green, P. Naghdi // J. Elast. – 1993. – Vol. 31. – P. 189–208.
- 5 Quintanilla, R. Moore – Gibson – Thompson Thermoelasticity / R. Quintanilla // Math. Mech. Solids. – 2019. – Vol. 24. – P. 4020–4031. – DOI: <https://doi.org/10.3233/ASY-191576>.
- 6 Quintanilla, R. Moore – Gibson – Thompson Thermoelasticity with two temperatures / R. Quintanilla // Appl. Eng. Sci. – 2020. – Vol. 1. – 100006. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apples.2020.100006>.
- 7 Серпичева, Е. В. Математические модели нестационарных термодинамических процессов в тонкостенных элементах конструкций / Е. В. Серпичева, Г. В. Федотенков // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : материалы XXVIII Междунар. симпозиума им. А. Г. Горшкова. – М. : ТРИ, 2021. – Т. 2. – С. 122–124.

УДК 62-192:624.1

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ К РАСЧЕТУ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ И ОЦЕНКЕ ИХ НАДЕЖНОСТИ

### 3. СИРОЖИДДИНОВ

*Самаркандский государственный архитектурно-строительный институт, Республика Узбекистан*

В статье проанализированы существующие вероятностные методы оценки несущей способности одиночных свай и свайных фундаментов (с учетом взаимного влияния).

Следует отметить, что из-за сложности проблемы имеется лишь ограниченное число работ, посвященных вероятностному расчету свайных фундаментов. Существует два подхода. В первом изучаются отдельные параметры изменчивости несущей способности (грунтовых условий) для определения проектной нагрузки на сваи при различных доверительных вероятностях [1, 2]. Второй, являясь более общим, исследует надежность (работоспособность) свайных фундаментов [4].

В работе [1] предложена методика вероятностно-статистической обработки результатов статических испытаний при определении проектной нагрузки на сваи. В [1] обсуждаются вопросы о критерии несущей способности сваи, необходимом числе испытаний и нормировании доверительной вероятности с учетом класса капитальности объекта и стадии проектирования.

Определению рационального объема статических испытаний при проектировании свайных фундаментов посвящена работа [2], где на основании статистической обработки результатов