

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора
ОАО "Композит", К.Ф.-м.н.


А.Э. Дворецкий

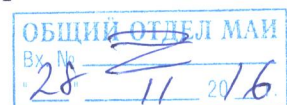


**Отзыв ведущей организации
открытого акционерного общества "Композит"**

на диссертацию Яковлева Дмитрия Олеговича
на тему «Моделирование процессов деформирования многослойных тонких
термоупругих пластин на основе метода асимптотической гомогенизации»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы. Диссертационная работа Яковлева Дмитрия Олеговича посвящена моделированию процессов деформирования многослойных тонких термоупругих пластин на основе метода асимптотического осреднения. Тонкие многослойные пластины, в частности композитные, трехслойные пластины, теплозащитные покрытия широко применяются в составе изделий современного машиностроения, авиастроения, ракетно-космической техники. Для расчета предельного состояния таких конструкций в условиях комплексного воздействия температур и механических нагрузок возникает необходимость определения не только продольных напряжений, но и межслойных и поперечных напряжений, которые являются причиной расслоения многослойных пластин.

Разработка новых эффективных методов расчета является востребованной задачей для расширения границ применимости уже существующих методов при условии достоверности их применения.



Моделирование напряженно-деформированного состояния тонких пластин в рамках трехмерной постановки задачи теории упругости приводит к значительным вычислительным затратам. В этой связи достаточно востребованы попытки модификации классических теорий пластин и оболочек, направленные на получение уточненных алгоритмов расчета напряженно-деформированного состояния тонких тел. В настоящее время для решения задач прочности конструкций из композиционных материалов успешно используется метод асимптотического осреднения. Одним из достоинств метода асимптотического осреднения является возможность получения математически точных решений в механике композитов, которые хорошо согласуются с экспериментальными данными. В этой связи тема диссертации представляет научный и практический интерес и является актуальной, поскольку в ней предложена новая методика расчета термоупругих тонких пластин, основанная на асимптотическом анализе трехмерных уравнений теории упругости и позволяющая получать математически обоснованные решения для всех компонент тензора напряжений в многослойных пластинах без использования гипотезы о характере распределения поперечных напряжений и деформаций.

Научная новизна диссертации заключается в следующих теоретических и практических результатах, полученных автором:

– новым способом выведены уравнения равновесия тонких многослойных анизотропных пластин при воздействии механических и тепловых нагрузок; уравнения равновесия выведены из уравнений общей трехмерной теории термоупругости путем введения асимптотических разложений по малому параметру без введения каких-либо гипотез относительно характера распределения перемещений и напряжений по толщине;

– новым способом выведены уравнения собственных колебаний тонких упругих многослойных анизотропных пластин; уравнения колебаний выведены при помощи метода асимптотического анализа общих трехмерных

уравнений упругих колебаний тел без введения каких-либо гипотез относительно характера распределения перемещений и напряжений по толщине.

Значимость для практики. Практическая ценность исследования состоит в том, что путем применения метода асимптотического осреднения к уравнениям общей трехмерной теории термоупругости и уравнениям установившихся колебаний, автор представил новый эффективный вычислительный подход к моделированию процессов деформирования многослойных тонких пластин при воздействии механических и тепловых нагрузок, который позволяет вычислять все 6 компонент тензора напряжений, включая поперечные нормальные напряжения и напряжения межслойного сдвига, по видимому, с большей вычислительной эффективностью, чем существующие методы, хотя этот вопрос, как и вопросы о погрешности и границах применимости разработанного подхода не достаточно освещены в диссертационной работе.

Достоверность и обоснованность полученных научных результатов и выводов диссертации основана на использовании обоснованных теоретических положений, а также подтверждена сравнением результатов, полученных с помощью вычислительных экспериментов.

Апробация результатов диссертационной работы выполнена на научных семинарах кафедры вычислительной математики и математической физики МГТУ им. Н.Э. Баумана, различных российских научных конференциях. Результаты диссертации опубликованы в 12 научных работах, в том числе в 4 статьях из Перечня Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации.

Анализ содержания диссертации.

Во введении проведен анализ состояния проблемы моделирования процессов деформирования многослойных тонких пластин при воздействии механических и тепловых нагрузок. Обоснован выбор метода асимптотического осреднения, как базового для решения задач исследования.

Сформулирована цель и задачи исследования, а также научная новизна и актуальность работы.

Первая глава посвящена разработке вывода уравнений термоупругости многослойных тонких пластин при помощи метода асимптотической гомогенизации из уравнений общей трехмерной теории термоупругости путем введения асимптотических разложений по малому геометрическому параметру.

Приведены основные теоретические положения, разработанные автором, для описания процессов деформирования многослойных тонких пластин на основе метода асимптотического осреднения. Выведена осредненная система уравнений равновесия для пластин, имеющая четвертый порядок относительно прогиба, как и классическая теория пластин Кирхгофа-Лява.

Во второй главе приводится решение задач об изгибе симметричной пластины равномерным давлением при одновременном воздействии равномерного температурного поля. Для данной задачи получены явные аналитические формулы для всех 6 компонент напряжений. Для анализа точности разработанной теории многослойных пластин было проведено сравнение результатов расчетов напряжений, полученных с помощью асимптотической теории, с результатами расчетов по точной 3-мерной теории упругости. Для нахождения численного решения по трехмерной теории использовался программный конечно-элементный пакет ANSYS. Также рассмотрена задача об изгибе многослойной пластины при неравномерном нагреве и проведено сравнение с численным решением по трехмерной теории термоупругости, полученным в ANSYS. Показано, что имеет место хорошее совпадение результатов.

Третья глава посвящена разработке вывода уравнений гармонических колебаний многослойных тонких пластин при помощи метода асимптотической гомогенизации. Сформулированы локальные задачи колебаний пластины и получено аналитическое решение для первого,

второго и третьего приближений. Приведены осредненные уравнения установившихся колебаний многослойных пластин, получены осредненные определяющие соотношения теории пластин, осредненные кинематические соотношения теории пластин и осредненная система уравнений для установившихся колебаний. С помощью предложенной теории вычислены в явной аналитической форме выражения для напряжений межслойного сдвига и поперечных напряжений в пластине.

В четвертой главе проведено моделирование гармонических изгибных колебаний многослойных тонких пластин. Рассмотрены случаи собственных изгибных колебаний симметричной многослойной пластины и вынужденных колебаний под действием равномерно распределенного давления. Проведено сравнение полученных результатов с численным решением методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS. Показано, что имеет место хорошее совпадение результатов.

Выводы и заключение по диссертационной работе отражают суть и содержание выполненной работы.

Оценка содержания диссертации.

Диссертационная работа Яковлева Дмитрия Олеговича состоит из введения, 4 глав, выводов и заключения, изложенных на 97 страницах, включая 24 иллюстрации и 6 таблиц, списка цитируемой литературы из 172 наименований. В части оформления диссертации и автореферата следует отметить присутствие значительного количества грамматических, орфографических и синтаксических ошибок.

Обобщая результаты анализа содержания диссертации, можно отметить в работе следующие **недостатки**.

1. При построении асимптотического разложения по малому параметру считается, что все компоненты тензора упругих постоянных материалов пластины имеют одинаковый порядок, что для ряда практических приложений, особенно композитов, армированных высокомодульным волокном, не является корректным. Так для однородной

пластины предлагаемая теория приводит к уравнениям, совпадающим с уравнениями, полученными на основе гипотезы Кирхгофа-Лява. По данным, приведенным в монографии В.В.Васильева «Механика конструкций из композиционных материалов», таб. 3.1, стр. 123, ошибка в прогибах трехслойных пластин, вычисленных по предлагаемой теории, при определенном сочетании упругих постоянных слоев может превышать 50%.

2. В работе не обосновывается выбор типа конечного элемента, применяемого для построения численного решения, которое используется для сравнения с решением по разработанной теории пластин.

3. В работе представлен вывод уравнений равновесия и колебаний пластин только при кинематических граничных условиях. При этом в главах 2 и 4 в примерах используются другие граничные условия, при этом допущена опечатка в граничном условии свободного скольжения: указано $\sigma_{13} = 0$ вместо $\sigma_{23} = 0$;

Отмеченные замечания не имеют принципиального значения для оценки диссертационной работы, как положительной квалификационной работы. На основании вышеизложенного считаем, что диссертация соискателя ученой степени Яковлева Дмитрия Олеговича является законченной научно-квалификационной работой.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Яковлев Дмитрий Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании
НТС ОАО “Композит” протокол № 8 от 25.11.2016 г.

Начальник отделения 0220, к.т.н.



С.В. Тащилов

Начальник отдела 0226, к.ф.-м.н.



В.П. Вагин