

Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Институт автоматизации  
проектирования Российской  
академии наук  
(ИАП РАН)

123056, Москва, ул. 2-я Брестская, д.19/18  
Телефон: (499)250-02-62  
Факс: (499)250-89-28  
E-Mail: icad@icad.org.ru

от 27.06.23 № 11610-214/160  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИАП РАН, д.ф.-м.н.

И.С. Никитин



«27» июня 2023 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Пичугиной Анны Евгеньевны «Моделирование термоупругого деформирования тонких композитных оболочек на основе асимптотической теории», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела»

### Актуальность темы диссертации

Теоретическое исследование термоупругого деформирования тонких композитных оболочек необходимо для оценки и обоснования прочности современных строительных конструкций. В рассматриваемой работе А.Е. Пичугиной разработаны новые численные методы, основанные на асимптотической теории пластин и оболочек, в которой используются асимптотические разложения исходных трехмерных уравнений теории упругости по малому геометрическому параметру. Представленные методы расчета термоупругого деформирования тонких композитных многослойных оболочечных конструкций при совместном воздействии механических нагрузок и нестационарного нагрева имеют важное научное и прикладное значение.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

\*10\* 07 2023.

## **Краткий анализ содержания работы**

Работа состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы из 100 наименований, списка иллюстративного материала из 53 рисунков и занимает 129 страниц.

**Во введении** обсуждается актуальность темы диссертации, проводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, сформулированы цели и задачи исследования, представлены методы исследования, научная новизна, практическая значимость, достоверность научных результатов и описана структура работы.

**В первом разделе** представлен **новый** вариант метода асимптотического осреднения для решения системы уравнений нестационарной термоупругости для тонких многослойных оболочек. Осредненные уравнения выведены с помощью асимптотической теории и формально совпадают с классическими уравнениями равновесия теории оболочек Кирхгофа-Лява. Для основных случаев граничных условий рассмотрены постановки краевых задач для расчета напряжений деформаций и температуры.

**Во втором разделе** разработан **новый** вариант метода асимптотического осреднения для решения системы уравнений нестационарной термоупругости для тонких многослойных оболочек цилиндрической формы. Это позволило на основе асимптотической теории оболочек для ряда локальных задач получить решения при всех степенях разложения рекуррентно.

**В третьем разделе** дан **новый** алгоритм вычисления термонапряжений для частного случая задачи об осесимметричном изгибе цилиндрической композитной оболочки при воздействии нестационарного неравномерного одностороннего нагрева и давления. Этот алгоритм разработан на основе представленного в первых двух разделах метода асимптотического осреднения.

**В заключении** диссертации отражены основные результаты и выводы.

## **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Достоверность проведенных исследований, результаты которых представлены в работе, обеспечена использованием в работе обоснованных подходов для построения математических моделей на основе асимптотической теории, использованием современных методов и подходов для конструирования вычислительных алгоритмов, проведением значительного количества расчетов, в том числе валидационного характера.

## **Оценка новизны, научной и практической значимости проведенных исследований**

В работе получены следующие новые результаты:

- Показано, что теория асимптотического осреднения приводит к системам уравнений, формально совпадающих с классическими уравнениями теорий анизотропных термоупругих оболочек Кирхгофа-Лява, а также позволяет математически строго обосновать формулы для вычисления распределения термонапряжений по толщине оболочки.
- Разработана методика асимптотического анализа напряженно-деформированного и теплового состояния многослойных тонких анизотропных композитных оболочек общего вида в трехмерной постановке, без дополнительных предположений о характере распределения неизвестных функций по толщине оболочки.
- В рамках методики асимптотического анализа сформулирована рекуррентная последовательность локальных задач, для которых получены расчетные формулы для всех компонент тензора напряжений без гипотез о распределении их по толщине.
- Построена осредненная двумерная теории цилиндрических оболочек и получены явные аналитические формулы для напряжений в цилиндрических оболочках. Решены задачи об осесимметричном изгибе цилиндрической композитной многослойной оболочки при действии внешнего давления, а также при комбинированном воздействии давления и одностороннего нагрева.
- Показано, что разработанная методика позволяет проводить расчет трехмерного термо-напряженно-деформированного состояния композитных оболочек, включая напряжения межслойного сдвига и поперечные термонапряжения при различных структурах армирования и сложного термонагружения.

Разработанная методика в полной мере реализована программно, ее эффективность продемонстрирована значительным числом численных расчетов. Данная методика будет полезна при расчетах на прочность термоупругих многослойных композитных оболочечных конструкций. Конкретными потребителями могут являться академические и отраслевые научно-исследовательские и проектные организации.

## **Полнота опубликования и апробации результатов исследований**

Основные результаты полностью отражены в 6 научных работах, в том числе в 3 статьях, включенных в перечень российских рецензируемых научных изданий, и в 3 научных публикациях, включенных в международную базу данных Scopus.

### **Замечания по содержанию диссертации**

- В диссертации предложен асимптотический метод построения теории тонких оболочек, который в итоге приводит к осредненным уравнениям, подобным уравнениям оболочек типа Кирхгофа-Лява. В то же время, известно, что для композиционных материалов, для которых и предлагается применять разработанную в диссертации теорию, более точно описывает напряженно-деформированное состояние теория оболочек типа Тимошенко.
- Для общего случая асимптотической теории оболочек решения локальных задач в диссертации получены при всех степенях разложения, рекуррентным образом, а при численном решении задачи о цилиндрической оболочке рассмотрены приближения только до 1-го приближения – для тангенциальных напряжений, до 2-го приближения – для напряжений межслойного сдвига, и до 3-го – для поперечных напряжений. Вопрос о том, почему достаточно ограничиться только этими приближениями остался открытым.

*Сделанные замечания ни в коей мере не снижают ценность диссертационной работы, значимости полученных в ней результатов и общей положительной оценки работы. Эти замечания являются рекомендацией автору по дальнейшему развитию математической модели.*

### **Заключение**

Обобщая вышесказанное, можно утверждать, что диссертационная работа А.Е. Пичугиной является научно-квалификационной работой, в которой изложен комплекс результатов, дающих решение важной научно-технической задачи расчета многослойных композитных тонкостенных оболочечных строительных конструкций. Работа выполнена на высоком научном уровне, ее результаты обладают новизной и научно-технической значимостью. Основные результаты диссертации прошли апробацию и в должной мере отражены в научных публикациях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки РФ, а также в наукометрическую базу Scopus. Содержание диссертации и полученные результаты

соответствуют паспорту специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела». Автореферат верно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 01.10.2018) «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, **Анна Евгеньевна Пичугина**, безусловно заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Отзыв обсужден и одобрен на семинаре отдела информатизации, математического моделирования и управления ИАП РАН, протокол № 2/06 от 22.06.2023.

Ст. научный сотрудник, к.т.н.



А.Д. Никитин

Вед. научный сотрудник, д.ф.-м.н.



Н.Г. Бураго

«27» июня 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт автоматизации проектирования РАН»

Адрес: 123056, Москва, 2-ая Брестская ул, д.19/18

Сайт: <http://www.icad.org.ru/>

Телефон: +7 (499) 250-02-62

Факс: +7 (499) 250-89-28

Эл. почта: [icad.org.ru](mailto:icad.org.ru)

С отзывом ознакомлен

30.07.2023

