

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Цуканова Ивана Юрьевича «Контактные задачи для упругих тел с регулярным рельефом поверхностей», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности

1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

В рецензируемой диссертации представлены результаты исследования контактных задач плоской и пространственной теории упругости о взаимодействии тел с поверхностным рельефом в широком диапазоне нагрузок и геометрии рельефа. Развита точная и асимптотические методы решения плоских периодических контактных задач при неизвестной области контакта. Развита асимптотические методы решения периодических контактных задач для двумерной волнистой поверхности и упругого полупространства. Установлены связи между геометрией поверхностного рельефа и контактными характеристиками тел. Оценено влияние неровностей поверхности различных масштабных уровней микрорельефа на контактные характеристики тел. Получены оценки влияния формы и размеров выступов и впадин поверхностного рельефа на контактные характеристики, а также на размер зон сцепления и проскальзывания при приложении нормальных и касательных нагрузок.

Актуальность и практическая значимость.

В различных технических, медицинских и электронных устройствах используются материалы, которые вступают в контакт с более жестким телом или телом из того же материала, имеющим поверхностный рельеф (текстуру). Актуальной проблемой является развитие теории контактных задач для упругих тел с регулярным рельефом поверхностей, позволяющих оценить влияние микрогеометрии взаимодействующих поверхностей на характеристики контактного взаимодействия, силу трения и распределение подповерхностных напряжений, и управлять процессами трения и изнашивания за счет выбора оптимальных параметров поверхностного рельефа в широком диапазоне параметров нагружения.

Структура работы.

Диссертация имеет объем 190 страниц и содержит оглавление, введение, 5 глав, заключение и список литературы, насчитывающий 139 наименований отечественных и зарубежных авторов, включая работы автора диссертации.

Содержание работы.

Во введении описаны структура диссертации, цель, объекты и методы исследования, актуальность, практическая значимость и апробация работы, научная новизна и достоверность результатов, основные положения, выносимые на защиту, личный вклад автора в публикации.

Глава I содержит обзор современного состояния исследований в области контактных задач для тел с регулярным рельефом поверхности. Дана общая постановка задачи дискретного контакта. Рассмотрены периодические

контактные задачи, моделирование влияния параметров рельефа на характеристики контакта. Изучен учет взаимодействия в межконтактном зазоре.

Глава II посвящена развитию методов решения плоских периодических контактных задач для поверхностей с регулярным рельефом. Дана общая постановка задачи. Для формы рельефа, описываемой четной функцией координаты, получено общее решение в квадратурах. Определены дополнительные смещения. Найдены асимптотические решения для рельефа с симметричной формой выступов и впадин в различных диапазонах нагрузок. Проведен анализ решений и сравнение с точным решением. Сделаны выводы.

В главе III изучен контакт поверхности с пространственным волнистым рельефом и упругого полупространства. Дана общая постановка задачи. Приведены асимптотические решения для различных диапазонов нагрузок. Решения проанализированы и сравнены с известными численными решениями. Важно, что проведен анализ изменения не только контактных давлений, но и формы области контакта. Сделаны выводы.

Глава IV посвящена анализу эффектов неровностей второго масштабного уровня при контактном взаимодействии поверхности с регулярным рельефом и упругой полуплоскости. В условиях односвязной области контакта дана постановка, точное и асимптотическое решение для контакта двухуровневой волнистой поверхности и упругой полуплоскости. Рассмотрена задача о контакте волнистого цилиндра и упругой полуплоскости. Проведен анализ контактных характеристик, анализ взаимовлияния геометрических параметров на двух масштабных уровнях. Приведены результаты экспериментальных исследований смещений поверхности упругого цилиндра. Сделаны выводы.

Глава V содержит исследование влияния формы рельефа на характеристики контакта с упругой полуплоскостью при нормальном и тангенциальном нагружении. Дана постановка и решение периодической контактной задачи для рельефа с параметрически заданной формой при одинаковой или различной форме выступов и впадин. При учете нормальных и касательных сил с привлечением теории Каттанео–Миндлина дана постановка и решение периодической контактной задачи для упругой полуплоскости и взаимодействии с поверхностью с параметрически заданной формой рельефа. Проведен анализ характеристик контакта и сделаны выводы.

Заключение содержит сводку основных результатов диссертации.

Соискателем сформулированы также следующие основные положения, выносимые на защиту.

1. Аналитические решения плоской контактной задачи для деформируемых и жестких тел с регулярным рельефом их поверхностей и упругой полуплоскости, позволяющие определить контактное давление, размер фактической области контакта и функцию дополнительного смещения в квадратурах и рядах по ортогональным многочленам во всем диапазоне нагрузок и при форме выступов/впадин, описываемой четной функцией

координаты, а также их асимптотики в области малых, умеренных и больших нагрузок.

2. Асимптотические выражения для определения контактных характеристик (площадь фактической области контакта, дополнительное смещение за счет неровностей поверхности) при малых, умеренных и больших нагрузках для пространственного волнистого микрорельефа (с волнистостью в двух взаимно перпендикулярных направлениях) и методика приближенного определения формы области контакта и распределения контактных давлений при умеренных нагрузках для данного типа рельефа.

3. Аналитическое решение периодической задачи для жесткого тела с волнистым рельефом, имеющим два масштабных уровня неровностей, при внедрении ее в упругую полуплоскость и анализ влияния геометрических характеристик неровностей второго масштабного уровня на контактные характеристики – распределение контактного давления, размер области фактического контакта и дополнительное смещение за счет неровностей волнистости.

4. Решение задачи о волнистом цилиндре, внедряющемся в упругую полуплоскость при одной и двух зонах контакта, возникающих вследствие различного типа начального касания.

5. Критерии перехода к многосвязной области при одной зоне начального контакта и различном сочетании геометрических параметров цилиндра и волнистости.

6. Аналитическое решение контактной задачи для периодического рельефа с параметрически заданной формой выступов и впадин и упругой полуплоскости при приложении нормальных и касательных сил в условиях частичного проскальзывания (при одинаковых упругих постоянных взаимодействующих тел). Анализ влияния геометрии микрорельефа на контактные характеристики – распределение нормальных и касательных усилий, размеры области контакта, а также подобластей сцепления и проскальзывания на ней от соотношения нормальных и касательных сил.

Данные положения, а также выводы, сформулированные в диссертации, вполне обоснованы. Наиболее существенные результаты работы, указанные выше, получены лично соискателем.

Научная новизна.

Получены точные и асимптотические решения новых контактных задач теории упругости в плоской постановке с неизвестными границами зон контакта, позволяющие рассчитать контактные характеристики поверхностей, в том числе с двухуровневой периодической системой неровностей, имеющих форму, описываемую четной функцией координаты. Получены асимптотические решения пространственной периодической задачи о контактном взаимодействии поверхности с волнистым микрорельефом, нанесенным в двух взаимно перпендикулярных направлениях (с одинаковым периодом) и упругого полупространства. Построенные решения позволяют изучить влияние формы микрорельефа на контактные характеристики при разных нагрузках. Получено аналитическое решение периодической

контактной задачи в плоской постановке для поверхности с двухуровневой волнистостью и упругой полуплоскости при малой высоте неровностей второго уровня. Получено решение контактной задачи для волнистого цилиндра и упругой полуплоскости при наличии одной и двух зон начального контакта тел. Проанализировано влияние геометрических параметров цилиндра и его волнистости на переход от односвязной области фактического контакта к многосвязной. Даны решения плоских контактных задач для упругой полуплоскости и упругого тела с рельефом, форма которого описывается заданными параметрически периодическими функциями, в условиях частичного проскальзывания при приложении нормальной и касательной сил (в предположении близости упругих постоянных взаимодействующих тел).

Достоверность.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием известных методов механики деформируемого твердого тела и математического анализа. Большинство решений получены аналитически в замкнутом виде, их достоверность обеспечивается корректной постановкой задач и использованием соответствующего математического аппарата. Достоверность результатов расчетов подтверждается сравнением полученных решений с известными решениями в предельных случаях и с результатами численного моделирования, доступными из публикаций. В частности, обобщены известные решения и эффекты И.Я. Штаермана, Е.А. Кузнецова, Г. Гладвелла и Х. Вестергаарда.

В качестве замечаний по диссертации Цуканова И.Ю. можно отметить следующее.

1. В список литературы диссертации включены только 6 работ автора диссертации ([41-43,69,73,93]). Автореферат содержит 28 работ автора диссертации. Описание личного вклада автора диссертации на стр. 13 диссертации по номерам публикаций соответствует автореферату, но не диссертации.

2. На стр. 43 в заголовке подраздела 1.5 не ясен термин «рельеф характеристики».

3. В главе 3 при решении пространственной задачи предполагается равенство периодов волнистой поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Останется ли применимым подход, развитый в диссертации, если периоды в направлениях двух осей существенно различные? Следовало сослаться на работу: Александров В.М. Двойкопериодические контактные задачи для упругого слоя // ПММ. 2002. Т. 66. Вып. 2. С. 307–315., где развит подход для произвольных (не совпадающих) периодов.

4. На стр. 152 сказано, что формулы (5.7) и (5.10) не применимы при $m \gg 1$. Хотелось бы уточнить более конкретно диапазон применимости этих формул по параметру m .

5. На стр. 167 в соответствии с теорией Каттанео–Миндлина упругие характеристики тел предполагаются одинаковыми, что ведет к упрощениям

уравнений. Останется ли эффективным подход, развитый в диссертации, в случае разных упругих материалов тел или он должен быть модифицирован?

Указанные замечания не умаляют значения, научной и практической ценности выполненной работы. Диссертация Цуканова Ивана Юрьевича «Контактные задачи для упругих тел с регулярным рельефом поверхностей» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, имеющее не только теоретическое, но и практическое значение.

Все основные результаты диссертации содержатся в 28 публикациях, из которых 14 помещены в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и/или индексируемых в RSCI, Web of Science, Scopus.

Автореферат достаточно полно и верно отражает содержание представленной диссертации за исключением списка публикаций соискателя.

Учитывая сказанное выше, считаю, что диссертационная работа Цуканова Ивана Юрьевича «Контактные задачи для упругих тел с регулярным рельефом поверхностей» имеет научное и прикладное значение, по существу полученных результатов, объему и содержанию удовлетворяет необходимым требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям и указанным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а её автор Цуканов Иван Юрьевич заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Заведующий кафедрой
«Прикладная математика» ДГТУ
д. физ-мат. н., профессор

Пожарский Д.А.

« 12 » 02 2024 г.

Почтовый адрес: Пожарский Дмитрий Александрович
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Донской государственный технический университет»
(ДГТУ), 344000, ЮФО, Ростовская область,
г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.
Веб-сайт: <http://www.donstu.ru/>
Электронная почта: pozharda@rambler.ru
Тел.: +7 (863) 238-15-72

Подпись Д.А. Пожарского заверяю:
Ученый секретарь Ученого совета ФГБОУ ВО
«Донской государственный
технический университет»



В. Н. Анисимов