

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Савостьяновой Ириной Леонидовной «Методы группового анализа и законы сохранения при построении новых аналитических решений задач механики деформируемых твердых тел», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела

Оценка научных положений и выводов диссертационной работы

Диссертация посвящена решению краевых задач для классических уравнений механики деформируемого твердого тела: уравнений теории упругости, пластичности, упругопластичности и композитных материалов. Для решения этих задач используются законы сохранения дифференциальных уравнений – новый, еще мало разработанный раздел группового анализа. Как известно, что классические разделы группового анализа сосредоточены на поиске симметрий, допускаемых дифференциальными уравнениями, т.е. таких, которые преобразуют исследуемые уравнения в себя. Это позволяет понять структуру решений дифференциальных уравнений и найти некоторые точные решения этих уравнений. К сожалению, не все найденные таким образом решения имеют механический смысл и могут быть использованы для решения конкретных краевых задач. Тем не менее, этот подход позволил построить новые точные решения для некоторых классических уравнений механики деформируемого твердого тела. Полученные решения широко используются при тестировании компьютерных программ и при анализе технологических процессов. Предложенный автором диссертации метод позволяет строить законы сохранения, допускаемые исследуемыми дифференциальными уравнениями. Эти законы сохранения есть частный случай дифференциальных связей, введенных много лет назад академиком Н.Н. Яненко. Полученные законы сохранения обладают чрезвычайно важным свойством: они имеют дивергентную форму, что позволяет сводить решение краевых задач к вычислению интегралов по границе тела. Этот замечательный факт позволил построить в замкнутой форме решения представленных в диссертации краевых задач. Отметим, что и ранее исследовались и строились законы сохранения для уравнений механики, но никогда прежде законы сохранения не использовались для решения краевых задач. Наиболее существенным достижением автора является методика отыскания законов сохранения в зависимости от того, к какому типу (эллиптическому или гиперболическому) принадлежит рассматриваемая система уравнений.

Оценка содержания диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и списка литературы.

Во **введении** указаны цель исследования, его научная новизна, основные результаты, выносимые на защиту, теоретическая и практическая

значимость работы, приведен обзор работ по теме диссертации, дана общая характеристика работы.

В **Главе 1** вводятся основные определения и формулы, которые используются в дальнейшем. Приведены основные сведения об уравнениях упругости и пластичности, упруго-пластичности, композиционных материалов. Приведены основные положения группового анализа и законов сохранения, допускаемых системами дифференциальных уравнений, используемые в диссертации.

В **Главе 2** строятся законы сохранения и точные решения уравнений теории упругости. Найдены симметрии и законы сохранения двумерных уравнений теории упругости.

Построенные законы сохранения используются для решения первой краевой задачи для уравнений двумерной теории упругости. Отметим, что впервые для построения законов сохранения используется расслоение системы уравнений на автоморфную и разрешающую системы. Эти системы, в отличие от исходной системы уравнений являются уравнениями в частных производных первого порядка. Построенные законы позволили решить краевую задачу Дирихле для уравнений симметричной и асимметричной теории упругости в двумерном случае. Решения построены в виде квадратур, которые вычисляются по контуру исследуемой области.

Также рассмотрены уравнения упругости в плоском динамическом случае. Эта система заменена равносильной системой дифференциальных уравнений первого порядка. Равносильная система есть групповое расслоением исходной системы уравнений, она является объединением разрешающей и автоморфных систем. Для разрешающей системы уравнений найдены специальные классы законов сохранения, которые позволили найти решение исходных уравнений в виде поверхностных интегралов по границе упругого тела.

В **Главе 3** строятся законы сохранения и точные решения уравнений теории пластичности. Рассмотрено предельное состояние анизотропных пластических тел. Найдены новые трехмерные пластические течения, соответствующие однородному напряженному состоянию. Рассмотрены уравнения анизотропной теории пластического течения в пространственном случае. Рассмотрены динамические задачи анизотропной теории пластичности. Построены два класса новых стационарных инвариантных решений. Рассмотрены уравнения пластичности в двумерном случае и построены линии разрыва напряжений.

Глава 4 посвящена использованию законов сохранения для решения упругопластических задач. Рассмотрен упругопластический изгиб бруса поперечной силой. С помощью законов сохранения построена упругопластическая граница для бруса, изгибаемого поперечной силой, когда точка приложения силы не лежит в центре тяжести поперечного сечения. Решена плоская упругопластическая задача о напряженном состоянии в условиях сложного сдвига в теле, ослабленном отверстием, и ограниченном кусочно-гладким контуром. Решение этой системы позволило свести

вычисления компонент тензора напряжений к криволинейному интегралу по контуру отверстия, и тем самым найти границу между упругой и пластической областями.

Глава 5 содержит решение уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние многослойных и композиционных материалов.

В заключении приведены основные результаты выполненной работы.

Оценка научной новизны и практической значимости

Научная новизна диссертационной работы заключается в развитии новой методики решения краевых задач, основанной на законах сохранения, допускаемых дифференциальными уравнениями механики деформируемого твердого тела. Эта методика позволяет свести решение краевых задач к вычислению интегралов по поверхности изучаемого тела.

В работе построены новые точные решения уравнений упругости, пластичности и упругопластичности. Полученные решения важны сами по себе, поскольку они расширяют знания об исследуемых уравнениях. Кроме того, они позволяют получить напряженно-деформированное состояние в реальных механических конструкциях и технологических процессах. С практической точки зрения все построенные решения можно использовать для тестирования компьютерных программ, реализующих метод конечных элементов, метод граничных элементов или любой другой численный метод. Построенные в диссертации решения упругопластических задач позволяют получить оценки прочности конструктивных элементов таких как балки, стержни и консоли, которые широко используются в машиностроении, строительстве, а также и в космической отрасли.

Достоверность и обоснованность научных результатов, выводов, положений

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы обеспечивается корректным применением математического аппарата, законов сохранения и принципов равновесной термодинамики, строгими математическими доказательствами полученных формул, совпадением для частных случаев с известными формулами.

Обсуждение и одобрение полученных результатов на научных конференциях и семинарах, публикации в научных журналах подтверждают обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Результаты диссертации апробированы на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 59 работах, в том числе 20 – в журналах, входящих в Перечень ВАК.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

По направлениям исследований –

3. Задачи теории упругости, теории пластичности, теории вязкоупругости.

4. Механика композиционных материалов и конструкций, механика интеллектуальных материалов.

8. Динамика деформируемого твёрдого тела. Теория волновых процессов в средах различной структуры.

– диссертационная работа Савостьяновой И.Л. соответствует паспорту специальности 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела.

Оценка изложения материалов диссертации и автореферата.

Материал, изложенный в диссертации, понятен, логичен, хорошо структурирован. Проведенные исследования можно считать завершёнными. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

По диссертации имеются замечания, как по существу, так и редакционного характера.

1. Название диссертации звучит слишком общо, создается впечатление, что соискательница решила все задачи механики деформируемого твердого тела.

2. Соотношения Коши (1.18) выполняются для малых деформаций, а не для малых перемещений, как написано на стр. 13.

3. Коэффициенты в соотношениях (1.23) называются коэффициентами податливости, а не деформации.

4. В динамических уравнениях (1.34) отсутствует плотность.

5. Стр. 23. Первая краевая задача теории упругости ставится в напряжениях, вторая – в смещениях, а в диссертации наоборот.

6. В главе 2 в качестве примера рассматривается асимметричная теория упругости, которая является сомнительной, не подтверждается экспериментами, непонятно какие материалы она описывает.

7. В разделе 2.4 и далее решения получены в виде квадратур по границе области, для вычисления которых необходимо применять численные методы. Не проще ли с самого начала использовать МКЭ?

8. Раздел 2.6, стр. 98 и далее. Вектор скоростей перемещений, а не деформаций.

9. Мало примеров приведено, мало рисунков, отсутствуют графики полученных решений. Если найдены новые решения, нужно их продемонстрировать на конкретных задачах, например, внедрение жесткого штампа в пластическую среду, определение границ пластических зон в окрестности угловых вырезов, отверстий, полостей и прочих концентраторов напряжений и т.п. и т.д.

10. Не хватает сравнения с МКЭ. Разрешающая система уравнений МКЭ получается напрямую из вариационных принципов, минуя стадию составления дифференциальных уравнений (ДУ). Поэтому представляет интерес сравнение решений, полученных разными методами: слабая формулировка (вариационные принципы), и сильная формулировка (ДУ).

11. Много повторов, в начале параграфа краткое содержание, а потом введение в котором говорится то же самое. Статья Эммы Нётер [54] упоминается более 10 раз.

Заключение

Оценивая работу в целом, следует отметить ее высокий научный уровень, строгую обоснованность решений при изложении их в тексте диссертации, актуальность и ценность результатов, как с теоретической, так и с практической точек зрения. Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования и взаимосвязью выводов. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Диссертация является законченной научной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований получены аналитических решениях новых краевых задач для основных уравнений механики деформируемого твердого тела. Разработанные в диссертации методы решения краевых задач представляют собой хороший инструмент для решения широкого класса уравнений механики деформируемого твердого тела.

Диссертация соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени доктора наук, а ее автор – Савостьянова Ирина Леонидовна – заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук (специальность 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент, главный научный сотрудник лаборатории механики композитов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук



_____ Кургузов Владимир Дмитриевич

20 января 2025 г.

630090 Новосибирск, пр-т Лаврентьева, 15, ИГиЛ СО РАН
тел.: +79137423800, e-mail: kurguzov@hydro.nsc.ru

Подпись Кургузова В.Д. заверяю
Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН
к.ф.-м.н.




20.01.2025.

Хе А.К.