

УТВЕРЖДАЮ

Ректор НГТУ

Академик РАН М.П. Федорук

«28» сентября 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Петракова Игоря Евгеньевича

«Моделирование упругого деформирования композитных пластин, по-разному сопротивляющихся растяжению и сжатию»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы диссертации.

Моделирование композитных материалов представляет собой одну из современных и сложных областей механики. Такие материалы обладают существенной анизотропией и их поведение зависит от многих факторов. Состоящие из различных фракций, композиты обладают свойствами и характеристиками, отличными от свойств и характеристик отдельных компонентов. Сочетание компонентов позволяет получить более легкие и прочные материалы. Композиты применяются в космической промышленности, авиастроении, и в других отраслях, где соотношение веса и прочности материала имеет важное значение.

Диссертация Петракова И.Е. посвящена моделированию напряженно-деформированного состояния композитных пластин на основе математической модели, учитывающей разное сопротивление материала растяжению и сжатию. Модель построена с помощью обобщенного реологического метода и реализована численно на основе метода конечных элементов. В работе рассматривается ряд методических задач, которые демонстрируют работоспособность предлагаемого подхода. Таким образом, научная проблема диссертационной работы является актуальной.

Анализ содержания диссертации.

Диссертационная работа изложена на 119 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 138 источников и двух приложений.

Во введении кратко описан объект исследования, сформулирована цель диссертационной работы и выделены задачи, поставленные для ее достижения. Обоснована актуальность работы, теоретическая и практическая значимость, достоверность результатов и описаны методы исследования. Также перечислены основные публикации по теме работы и дана её общая характеристика.

В первой главе проведен исторический обзор развития методов моделирования композитов. Показаны особенности волокнистых композитных материалов и необходимость учета при моделировании их различного сопротивления растяжению и сжатию. Дано краткое описание обобщенного реологического метода, его преимуществ при моделировании волокнистых композитов, и с его помощью получены определяющие уравнения волокнистого композита в общем виде.

Во второй главе рассмотрена задача изгиба тонкой композитной балки. Доказано существование и единственность нейтральной линии при изгибе композитной балки со свободными концами, представлен алгоритм вычисления положения нейтральной линии и определения максимально возможной жесткости балки, получаемой за счет перестановки слоев. Описана методика определения феноменологических параметров композита на основе фотосъемки изгибного состояния тонкой балки (спицы).

В третьей главе приведена задача расчета плоского напряженного состояния многослойной композитной пластины, получены определяющие уравнения и разработан вычислительный алгоритм. Приведены результаты расчетов для различных вариантов армирования пластин и схем нагружения.

Четвертая глава содержит постановку задачи расчета чистого изгиба композитной пластины, для которой предполагается выполнение гипотез Кирхгофа и существование нейтральной поверхности. Получено дифференциальное уравнение четвертого порядка для прогиба, разработан вычислительный алгоритм и приведены результаты расчетов чистого изгиба композитных пластин с различными вариантами армирования под действием сосредоточенной силы и при изгибе жестким штампом.

В пятой главе рассмотрено напряженно-деформированное состояние композитной пластины, при котором нейтральная поверхность может не существовать. Предложен вычислительный алгоритм для расчета таких задач

и приведены результаты расчетов различных вариантов напряженно-деформированного состояния композитной пластины.

В заключении кратко перечислены основные результаты работы и описаны возможные пути развития проведенных исследований.

Научная новизна.

В работе представлена новая математическая модель для анализа квазистатического деформирования пластин из многослойного композитного материала, по-разному сопротивляющегося растяжению и сжатию под действием произвольной системы сил. Разработана и зарегистрирована программа для ЭВМ, позволяющая рассчитывать напряженно-деформированное состояние композитных пластин при чистом изгибе и при изгибе с растяжением – сжатием в плоскости пластины. В программе применялся метод конечных элементов, позволяющий проводить расчеты для произвольной геометрии пластины.

Практическая и теоретическая значимость.

Анализ основных научных результатов, полученных Петраковым И.Е., позволяет сделать вывод об их высокой теоретической и практической значимости. Научная ценность работы заключается в создании новых математических моделей для описания статического напряженно-деформированного состояния композитных пластин с учетом разного сопротивления материала растяжению и сжатию, эффективной алгоритмической и программной реализации этих моделей, позволяющей с помощью компьютерных расчетов исследовать поведение многослойных композитных пластин под действием внешних сил. Разработанные вычислительные алгоритмы и программы могут применяться на практике для исследования поведения композитных материалов при проектировании конструкций. Результаты работы могут быть использованы также при подготовке специальных университетских курсов для бакалавров и магистрантов, специализирующихся по механике деформируемого твердого тела, прикладной математике и математическому моделированию.

Достоверность результатов исследования.

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается использованием фундаментальных законов механики деформируемого твердого тела, численных методов, применимость которых к данному типу задач исследована и подтверждена. Проведено сравнение результатов работы с результатами, полученными в существующих программных комплексах. Научные результаты Петракова И.Е. обсуждались на международных и всероссийских конференциях, опубликованы в

рецензируемых российских и зарубежных журналах, что также обосновывает высокий уровень достоверности результатов диссертации.

Значение полученных соискателем результатов исследования для развития соответствующей отрасли науки.

Результаты диссертационной работы вносят вклад в развитие обобщенного реологического метода механики деформированного твердого тела. Предложенная автором модель напряженно-деформированного состояния композитных пластин может применяться для изучения особенностей деформирования разномодульных материалов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Результаты диссертации могут быть использованы в Институте проблем механики РАН, Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Институте механики сплошных сред УрО РАН, Институте прикладной математики ДВО РАН, в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Пермском государственном национальном исследовательском университете, Национальном исследовательском Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского и в других научно-исследовательских организациях, основные направления научных исследований которых связано с проектированием и расчетом элементов конструкций из композитных материалов.

Вопросы и замечания.

1. Безусловно, предложенная в диссертации математическая модель является новой и интересной. В то же время, она имеет и недостаток. В частности, модель не описывает сингулярности решений вблизи тонких волокон.
2. Скорость сходимости алгоритма Удзавы при определении проекции на выпуклое замкнутое множество в пространстве деформаций оказалась слишком медленной, что существенно снижает эффективность предлагаемого алгоритма численного решения задач изгиба. Какие альтернативные алгоритмы можно применить для ускорения сходимости?
3. Как в модели многослойной композитной пластины учитывается контактное взаимодействие между слоями? Имеется ли возможность учесть расслоение, жесткие включения и прочие дефекты, возникающие при изготовлении композита?

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку работы, которая представляет собой законченное научное исследование. Полученные автором результаты, научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, обоснованы и достоверны, обладают высоким уровнем новизны и имеют как теоретическое, так и практическое значение.

Заключение.

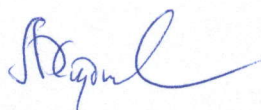
По результатам диссертационного исследования опубликованы 13 печатных работ, из которых 3 изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 6 – в тезисах докладов, 5 индексируются в базах данных Web of Science, 6 – в базах Scopus, из них 5 публикации индексируются одновременно в Web of Science и Scopus, что подтверждает широкую апробацию диссертационной работы. Список трудов содержит также одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Автореферат и опубликованные работы соответствуют содержанию диссертации.

Диссертационная работа полностью соответствует специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела». Диссертация Петракова Игоря Евгеньевича «Моделирование упругого деформирования композитных пластин, по-разному сопротивляющихся растяжению и сжатию», по актуальности затронутых вопросов, научной новизне и практической значимости отвечает требованиям пп. 9-14 положения ВАК РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, поскольку является законченной научно-квалификационной работой по актуальной теме в области моделирования композитных материалов. Полученные результаты и выводы обоснованы, являются новыми и имеют определенное научное и прикладное значение, а ее автор Петраков Игорь Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела».

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки.

Доктор физ.-мат. наук, профессор

кафедры механики твердого тела



Хлуднев Александр Михайлович

Диссертация обсуждалась на заседании семинара «Краевые задачи в областях с негладкими границами» 7 марта 2023 г. Отзыв на диссертацию утвержден на заседании семинара 27 сентября 2023 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2

<https://www.nsu.ru>

Телефон: +7 (383) 363-40-20

E-mail: decanat.mmf.nsgmail.com