

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
24.2.316.03 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 19 октября 2023 года № 1

о присуждении Петракову Игорю Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование упругого деформирования композитных пластин, по-разному сопротивляющихся растяжению и сжатию» по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела принята к защите 26 июля 2023 г., протокол № 2, диссертационным советом 24.2.316.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, д. 27, приказ Минобрнауки России от 24 июня 2016 г. № 787/нк.

Соискатель Петраков Игорь Евгеньевич, 1994 года рождения, в 2018 году окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» с присуждением квалификации магистра по направлению 02.04.01 «Математика и компьютерные науки». В 2022 году окончил очную аспирантуру при Федеральном исследовательском центре «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» по специальности 01.02.04 (1.1.8) – Механика деформируемого твердого тела. Работает в штатной должности инженера Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН.

Диссертация выполнена в отделе вычислительной механики деформируемых сред Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН.

Научный руководитель – член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор Садовский Владимир Михайлович, главный научный сотрудник, заведующий отделом Вычислительной механики деформируемых сред Института

вычислительного моделирования СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

Официальные оппоненты:

Любимова Ольга Николаевна, доктор физико-математических наук, доцент, профессор отделения машиностроения, морской техники и транспорта Инженерного департамента Политехнического института (школы) ФГАОУ ВО Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток;

Севастьянов Георгий Мамиевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук ФГБУН Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Комсомольск-на-Амуре.

Дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», г. Новосибирск – в своём положительном заключении, подписанном Хлудневым Александром Михайловичем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры механики твердого тела ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», и утверждённом Федоруком Михаилом Петровичем, академиком РАН, доктором физико-математических наук, ректором ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», указала, что диссертационная работа И.Е. Петракова является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком научном уровне. В ней присутствуют все основания для её защиты по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела, а именно: научная новизна, теоретическая и практическая ценность результатов, их актуальность и достоверность. Не остается сомнений в квалификации соискателя и его личном вкладе в получение и оформлении результатов исследовательской работы. Диссертация полностью соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Петраков Игорь Евгеньевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.

Соискатель имеет 13 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них 7 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 6 – в изданиях, индексируемых Web of Science или Scopus.

Наиболее значимые работы:

1. Петраков И.Е. Контактная задача изгиба многослойной композитной пластины с учётом различных модулей упругости при растяжении и сжатии / И.Е. Петраков // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2022. – Т. 25, № 4. – С. 153-163.

2. Petrakov I.E., Sadovskii V.M., Sadovskaya O.V. Analysis of bending of composite plates with account for the difference in resistance to tension and compression / I.E. Petrakov, V.M. Sadovskii, O.V. Sadovskaya // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 2021. – Vol. 62. – № 5. – P. 851-860.

3. Annin B.D., Sadovskii V.M., Petrakov I.E., Vlasov A.Yu. Strong bending of a beam from a fibrous composite, differently resistant to tension and compression / B.D. Annin, V.M. Sadovskii, I.E. Petrakov, A.Yu. Vlasov // Journal of Siberian Federal Universit. Mathematics and Physics. – 2019. – Vol. 12. – № 5. – P. 533-542.

4. Sadovskii V.M., Sadovskaya O.V., Petrakov I.E. On the theory of constitutive equations for composites with different resistance in compression and tension / V.M. Sadovskii, O.V. Sadovskaya, I.E. Petrakov // Composite Structures. – 2021. – Vol. 268. – P. 113921.

5. Petrakov I.E. Modeling the bending of a multilayer composite plate with a rigid stamp / I.E. Petrakov // AIP Conference Proceedings. – 2022. – Vol. 2522. – P. 080004.

6. Petrakov I.E., Sadovskii V.M. Mathematical modeling of plane stress state of a multilayer fibrous composite, differently resistant to tension and compression / I.E. Petrakov, V.M. Sadovskii // AIP Conference Proceedings: Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences: 12th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences. – Albena: American Institute of Physics Inc., 2020. – P. 090003.

7. Petrakov I.E., Sadovskii V.M. Identification of the elastic modules of a fibrous composite by solving inverse problems / I. E. Petrakov, V. M. Sadovskii // AIP Conference Proceedings: Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences: 11th International Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences. – Albena: American Institute of Physics Inc., 2019. – P. 090004.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ:

1. Петраков И.Е. Расчет напряженно-деформированного состояния композитной пластины с учетом разномодульности / 18.08.2022 / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022665584.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все положительные, указывается основное отражение замечаний):

Отзыв на диссертацию ведущей организации ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» имеет основные 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?

Отзыв на диссертацию официального оппонента Любимовой О.Н. имеет основные замечания:

1. Лабораторные измерения консольного изгиба балки во второй главе проводились для тонкой балки – спицы. Останется ли соотношение между модулями упругости при сжатии и при растяжении таким же для балок большого сечения? Оказывает ли влияние масштабный эффект?

2. При проектировании элементов конструкций из композитных материалов приходится анализировать поведение композитов не только при квазистатических, но и при динамических нагрузках. Это очень сложная задача, если учитывать накопление повреждений, появление и рост трещин. Каковы перспективы развиваемого метода моделирования в применении к динамическим процессам?

3. Текст диссертации составлен достаточно четко и кратко, не в ущерб полноте изложения, но имеются опечатки и стилистические неточности.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Севастьянова Г.М. имеет основные замечания:

1. В работе при построении определяющих соотношений используется тензор малых (инженерных) деформаций - симметричная часть градиента перемещений (стр. 48 диссертации). На стр. 32 указано, что модель имеет дело с малыми деформациями, но конечными поворотами. Эти два положения плохо сочетаются друг с другом, поскольку тензор малых деформаций не инвариантен к вращению. Например,

жесткий поворот деформируемого материала (который не исключен в рассматриваемых задачах изгиба пластин) вызовет наличие ненулевых значений деформации и, следовательно, напряжений. В тексте работы стоило бы уделить место обоснованию использования тензора малых (линейных) деформаций.

2. Судя по рисункам в главе 3 расчетные величины компонент деформации трудно назвать малыми - порядка 0,1-0,2. При такой величине деформации вполне могут проявляться нелинейные упругие эффекты и, более того, пластическое течение. Было бы полезно увидеть в диссертации кривые деформирования базовых (для рассматриваемых композитов) материалов, чтобы понять, действительно ли при таких деформациях исключено необратимое деформирование, а также оценить предположение о линейности определяющих соотношений.
3. В работе рассмотрены среди прочего композиты на базе эпоксидных смол, для которых автором установлено двукратное превышение модуля Юнга на растяжение по сравнению с модулем при сжатии. Здесь стоило бы указать конкретнее марку материала. Например, данные по ряду эпоксидных смол, приведенные в монографии Амбарцумяна, скорее обратные и с более слабой разномодульностью.
4. В работе в качестве разномодульной характеристики материала упоминается только модуль Юнга. Что можно сказать о коэффициенте Пуассона? У того же Амбарцумяна аргументирована связь между упругими модулями на сжатие и растяжение, которые не могут сочетаться произвольно. Насколько может быть существенной разница в коэффициенте Пуассона?
5. В первой главе изложен обобщенный реологический метод, приведены модели Максвелла и Кельвина - Фойгхта для вязкоупругой среды. При этом в диссертации далее никак не обсуждаются вязкие эффекты при деформировании.
6. Возможно, диссертант найдет интересным ознакомиться с моделью разномодульной упругости при конечных деформациях (Du et al., 2020. Tension-compression asymmetry at finite strains: A theoretical model and exact solutions // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 143, 104084. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2020.104084>). В указанной работе есть аналитические решения в том числе задачи об изгибе пластины, правда не композитной. Авторы в частности отмечают, что изгибающий момент при некоторых условиях может снижаться с ростом кривизны пластины. Этот эффект, судя по всему, связан чисто с разномодульностью материала. Не отмечал ли диссертант чего-то подобного в численных исследованиях или же в диссертации речь идет все же

преимущественно о небольших величинах прогиба, когда эффекты такого рода не проявляются?

Отзыв на автореферат **Петрова Игоря Борисовича**, член-корреспондента РАН, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры информатики и вычислительной математики ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» не содержит замечаний.

Отзыв на автореферат **Скрипняка Владимира Альбертовича**, доктора технических наук, профессора, зав. кафедрой механики деформируемого твердого тела ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» содержит замечание:

1. В качестве замечания следует указать, что в диссертации необходимо было указать, для каких классов волокнистых композиционных материалов применимы полученные в диссертационной работе результаты. В настоящее время, помимо композитов с полимерными матрицами, армированными прямыми волокнами, уже применяются полимерные композиты, армированные волнистыми волокнами, например, углеродными, а также композиты с металлическими и керамическими матрицами, механическое поведение которых имеет особенности, не учитывающиеся в рассмотренной в диссертации реологической схеме.

Отзыв на автореферат **Радченко Андрея Васильевича**, доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника Института физики прочности и материаловедения СО РАН содержит замечание:

1. В автореферате не описаны границы применимости предлагаемого подхода. В частности, есть ли ограничения на скорости деформации, которые может испытывать материал?

Отзыв на автореферат **Буханько Анастасии Андреевны**, доктора физико-математических наук, доцента, исполнительного директора естественнонаучного института, профессора кафедры математического моделирования в механике ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» не содержит замечаний.

Отзыв на автореферат **Смолина Игоря Юрьевича**, доктора физико-математических наук, доцента, зав. лабораторией нелинейной механики материалов и многоуровневых систем ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН не содержит замечаний.

Отзыв на автореферат **Сенашова Сергея Ивановича**, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры информационных экономических систем ФАОУ «Сибирский государственный университет науки и технологий имени М.Ф. Решетнева» содержит замечания:

1. В качестве замечаний хотелось бы отметить наличие опечаток, а также грамматических и пунктуационных ошибок.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются компетентными специалистами в исследуемой области, а ведущая организация широко известна достижениями работающих в ней специалистов в области науки, соответствующей тематике диссертации.

Отзыв на автореферат **Голушко Сергея Кузьмича**, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника Центра новых функциональных материалов ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» не содержит замечаний.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана и предложена новая математическая модель слоистого композита, проявляющая эффект разного сопротивления растяжению и сжатию. **Установлена** термодинамическая корректность определяющих уравнений модели посредством наличия выпуклых потенциалов как напряжений, так и деформаций.

предложена методика идентификации (калибровки) модуля Юнга волокнистого композитного материала при сжатии на основе регистрации в лабораторных условиях упругой линии консольно изогнутого тонкого стержня, численного решения задачи сильного изгиба с последующим решением обратной задачи определения цилиндрической жесткости стержня по методу наименьших квадратов;

разработан итерационный алгоритм численных расчетов параметров напряженно-деформированных состояний методом конечных элементов в многослойной пластине при ее изгибе и плоском напряженном состоянии с учетом разного сопротивления растяжению и сжатию.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

получены новые пространственные определяющие уравнения упругого композита, по-разному сопротивляющегося растяжению и сжатию;

развит применительно к слоистым композиционным материалам метод построения определяющих уравнений, основанный на модельных представлениях совместного деформирования материалов элементов армирования и связующих;

доказана разрешимость краевых задач изгиба слоистых пластин с учетом различия сопротивлений материала растяжению и сжатию при произвольном распределении внешних сил и моментов сил;

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы фундаментальные подходы механики деформируемого твердого тела для описания деформирования материалов со сложными механическими свойствами, закон термодинамики и метод конечных элементов, для численных расчетов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

предложены модель и алгоритмы для расчета изгиба слоистых пластин с учетом различия сопротивлений материала растяжению и сжатию в качестве необходимого инструментария при проектировании конструкций из композитных материалов, проведении прочностных расчетов, решении оптимизационных задач.

Оценка достоверности результатов выявила:

теория базируется на классических подходах механики деформируемых сред с использованием обобщенного реологического метода, позволяющего получить определяющие уравнения для которых определены упругие потенциалы напряжений и деформаций, что гарантирует выполнение фундаментальных принципов термодинамики;

идея продиктована необходимостью создания методов расчетов задач деформирования разномодульных материалов;

используются для составления алгоритмов и программ расчётов классические численные методы.

Личный вклад автора состоит в получении определяющих уравнений на основе обобщенного реологического метода, разработке вычислительных алгоритмов и программы для ЭВМ, проведении расчетов, обработке и анализе полученных результатов, подготовке научных статей и докладов по теме диссертационной работы.

Заключение:

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и отвечает требованиям, установленным пунктом 9 «Положения о присуждении учёных

степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На заседании 19 октября 2023 г. диссертационный совет 24.2.316.03 принял решение присудить Петракову Игорю Евгеньевичу учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твёрдого тела за решение научной задачи, имеющей важное значение для развития механики деформируемых сред и практических ее применений, заключающейся в разработке методологии расчета напряженно-деформированных состояний композитных пластин, материалы которых по-разному сопротивляются растяжению и сжатию.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 19, против 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель
диссертационного совета

Учёный секретарь
диссертационного совета



Дмитриев Эдуард Анатольевич

Григорьева Анна Леонидовна

19 октября 2023 года