

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: 24.2.327.07

Соискатель: Большаков Павел Владиславович

Тема диссертации: Моделирование процессов деформирования элементов конструкций на основе учета влияния их структуры на напряженно-деформируемое состояние

Специальность: 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании «09» октября 2024 года, протокол №6, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Большакова П.В. является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Большакова П.В. отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании «09» октября 2024 года, протокол №6, диссертационный совет принял решение присудить Большакову П.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: заместители председателя диссертационного совета Земсков А.В., Фирсанов В.В., ученый секретарь диссертационного совета Сердюк Д.О.

Члены диссертационного совета: Вестяк В. А., Дмитриев В. Г., Медведский А. Л., Миронова Л. И., Рабинский Л.Н., Солдатенков И. А., Федотенков Г. В.

Заместитель председателя
диссертационного совета 24.2.327.07
д.ф.-м.н., доцент

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.07
к.т.н., доцент

Проректор по научной работе
д.т.н., доцент



Земсков А.В.



Сердюк Д.О.



Иванов А.В.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.07,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «09» октября 2024 г. № 6

О присуждении Большакову Павлу Владиславовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование процессов деформирования элементов конструкций на основе учета влияния их структуры на напряженно-деформируемое состояние» по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», принята к защите «25» марта 2024 г., протокол № 5, диссертационным советом 24.2.327.07, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования РФ, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании диссертационного совета 24.2.327.07 – № 1184/нк от «12» октября 2022 г.

Соискатель Большаков Павел Владиславович, 19 марта 1995 года рождения. В 2019 г. окончил с отличием магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по направлению 01.04.03 «Механика и математическое моделирование», в 2023 г. – очную аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика».

Работает научным сотрудником в лаборатории механики оболочек Научно-исследовательского центра «Научно-исследовательский институт математики и механики им. Н.Г. Чеботарева» Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Теоретической механики» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – **Саченков Оскар Александрович**, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой компьютерной математики и информатики Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Официальные оппоненты:

Маслов Леонид Борисович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,

Чекмарев Дмитрий Тимофеевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры теоретической, компьютерной и экспериментальной механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» в своем положительном отзыве, подписанном доктором технических наук, профессором, почетным доктором Технического университета г. Лодзь (Польша), лауреатом общенациональной премии «Профессор года» 2021 в номинации «Технические науки», заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, заведующим кафедрой «Математика и моделирование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» **Крысько Вадимом Анатольевичем**, а также доктором физико-математических наук, почетным работником сферы образования РФ, профессором кафедры «Математика и моделирование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» **Жигаловым Максимом Викторовичем** и утверждённом доктором химических наук, проректором по науке и инновациям директором федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», **Остроумовым Игорем Геннадьевичем** указала, что диссертация **Большакова Павла Владиславовича** представляет собой завершённую квалификационную работу, в которой сформулированы новые решения и

новые методы моделирования процессов деформирования элементов конструкций на основе учета влияния их структуры на напряженно-деформируемое состояние, имеющие важное значение для развития механики деформируемого твёрдого тела. Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, установленным в Постановлении Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения учёных степеней», и её автор, Большаков Павел Владиславович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твёрдого тела».

Соискатель имеет 23 опубликованные работы по теме диссертации, в том числе 3 – в журналах и изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 3 – входящих в Перечень ВАК РФ и индексируемых в базе данных Scopus, 17 — в тезисах докладов. Получено два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Kharin N., Bolshakov P., Kuchumov A.G. Numerical and Experimental Study of a Lattice Structure for Orthopedic Applications// Materials. - 2023. - Vol.16, Art№ 744. (Web of Science, Scopus)

2. Bolshakov P., Kharin N., Kashapov R., Sachenkov O. Structural design method for constructions: simulation, manufacturing and experiment// Materials. - 2021. - Vol.14, Art№6064. (Web of Science, Scopus)

3. Kharin N.V., Gerasimov O.V., Bolshakov P.V., Khabibullin A.A., Fedyanin A.O., Baltin M.E., Baltina T.V., Sachenkov O.A. Technique for determining the orthotropic properties of the bone organ according to computer tomography// Russian Journal of Biomechanics. – 2019. – Vol.23, pp.395–402. (Scopus)

4. Bolshakov P.V., Sachenkov O.A. Destruction simulation for the inhomogeneous body by finite element method using computed tomography data// Russian Journal of Biomechanics. – 2020. – Vol.24, pp. 248–258. (Scopus)

В этих и остальных работах приведены новые методы коррекции конструкций с решетчатой и пористой структурами и методы оценки влияния геометрии решетчатой и пористой элементарной ячеек на физико-механические свойства. Вклад в публикации, выполненные в соавторстве, состоит в участии в формулировке постановок задач, построении математических моделей, проведении численных и экспериментальных натуральных испытаний с последующим анализом результатов.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации и официальных оппонентов, отзывы положительные,

от кандидата физико-математических наук, доцента кафедры прочности конструкций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» Холмогорова Сергея Андреевича, отзыв положительный;

от доктора технических наук, профессора кафедры вычислительной математики, механики и биомеханики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Александра Анатольевича Селянинова, отзыв положительный;

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены: новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая значимость.

В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве ведущей организации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» имеются следующие вопросы и замечания.

1. Автор уделяет много внимание визуализации научных результатов, однако при исследовании напряженно-деформированного состояния конструкций было бы хорошо привести график нагрузка-перемещение или интенсивность деформаций – интенсивность напряжений.

2. При исследовании вживления протеза в животном, что, несомненно, является украшением диссертации, результаты приведенные на рис. 2.26 «Микрофотография кости: 110 дней после трансплантации, контрольное животное (а); 110 дней после трансплантации опытное животное (б)», не очень информативны, т.к. тяжело понять, где протез, а где ткань.

Замечания в отзыве официального оппонента Маслова Л.Б.

1. В работе представлен оригинальный подход оптимизации напряженно-деформированного состояния метаматериалов со сложной внутренней структурой (решетчатых и пористых) на основе функций влияния и предложенной целевой функции, записанной через них и дополнительные масштабные коэффициенты. Однако к данному подходу есть несколько вопросов: 1) из работы не понятны значения масштабных коэффициентов, использованных в расчетах конкретных конструкций; 2) хотелось бы знать, проведена ли какая-либо верификация разработанного метода?

2. В диссертации встречаются специальные названия конечных элементов из библиотеки программного комплекса ANSYS. Хотя при этом даются основные характеристики конечных элементов, скрываемые за этими названиями, хотелось бы видеть более детальную информацию об используемых конечных элементах (функции формы, матрицы жесткости и т.п.). В частности, есть вопрос, почему конечный элемент BEAM188 имеет квадратичную аппроксимацию, хотя в классической теории МКЭ стержневые элементы, работающие на растяжение, описываются линейными функциями формы, а работающие на изгиб – полиномами Эрмита третьего порядка?

3. Глава 3 посвящена расширению предложенного подхода на пористые регулярные структуры, который основан на построении зависимости тензора упругих модулей ячейки периодичности от двух

параметров. Поскольку оценка эффективных упругих модулей является сама по себе отдельной и не простой задачей, то есть вопросы к эффективности нахождения такой зависимости численными методами, т.е. не рациональнее ли использовать аналитические оценки на основе теорий эффективного поля и тензора Эшелби? Если нет, то хотелось бы уточнить постановку и численное решение задачи на нахождение эффективных упругих модулей.

4. С точки зрения механобиологии и тканевой инженерии важным аспектом при разработке скаффолдов является значение пористости, которая должна быть в определенных пределах для обеспечения регенерации ткани в поровом пространстве скаффолда. Поскольку одним из практических приложений диссертации является регенеративная медицина, то необходимо отметить, что в работе не приведены явно значения целевой и получаемой в результате оптимизации пористости разработанных эндопротезов решетчатой структуры.

Замечания в отзыве официального оппонента Чекмарева Д.Т.

1. Во второй главе не приведено обоснование применимости балочных конечных элементов для расчета ячеистой конструкции.

2. В третьей главе не раскрыто почему направление печати оказывает такое влияние на кривые нагружения образцов.

3. В четвертой главе не уделено внимание, возникающим в ходе численного расчета неоднородных пористых структур концентраторам напряжений, не ясно какова их природы?

В отзывах на автореферат следует отметить такие критические замечания.

1. Во второй главе не приведены значения пористости эндопротезов длинных костей;

2. В автореферате уделено недостаточно внимания современному состоянию и видам технологического процесса аддитивного производства;

3. Не приведены коэффициенты аппроксимирующего полинома для формулы (14);

4. Проведены ли какие-либо численные расчеты или эксперименты верифицирующие результаты для решетчатого эндорпотеза.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высококвалифицированными специалистами в данной области, а ведущая организация проводит исследования в области сложноструктурированных и функционально-градиентных пористых материалов. Официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации имеют значительное количество публикаций, связанных с направлением исследований диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны новые методы к коррекции решетчатых и пористых конструкций при условии сохранения прочностных свойств, основанные на функциональных зависимостях геометрических параметров элементарной ячейки на напряженно-деформированное состояние;

предложен новый подход к коррекции конструкций, обладающих нерегулярной пористой структурой, на базе обобщения метода коррекции конструкций с регулярной пористой структурой;

доказана перспективность идей, изложенных в диссертации, применительно к решению задач механики деформируемого твердого тела.

Новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны правомерность и обоснованность предложенных методов коррекций конструкций с решетчатой и пористой структурами в рамках теории упругости;

применительно к проблематике диссертации **результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс методов, в том числе методы механики

деформируемого твердого тела, метод представительных объемов, методы кластеризации и методы обобщения диаграммы Вороного;

изложены и доказаны утверждения, позволяющие использовать метод представительных объемов для моделирования процессов деформирования конструкций с пористыми структурами;

раскрыто существование проблемы влияния структуры на напряженно-деформируемое состояния элементов конструкции, а именно получена функциональная связь между геометрией решетчатой элементарной ячейкой и максимальными напряжениями;

изучены задачи определения напряженно- деформированного состояния элементов конструкции с учетом их структуры;

проведена модернизация аналитических и численно-аналитических методов и алгоритмов решения для задач определения напряженно-деформированного состояния элементов конструкции с учетом их структуры.

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

разработаны численные методы коррекции конструкций с решетчатой, регулярной, нерегулярной пористой структурами в рамках теории упругости с учётом влияния показателей микроархитектуры на прочностные свойства конструкции;

определены перспективы практического использования разработанных методов и алгоритмов применительно к решению краевых задач механики деформируемого твёрдого тела;

созданы новые эффективные алгоритмы моделирования процессов деформирования элементов конструкций с учетом их структуры;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию разработанных методик определения напряженно-деформированного состояния элементов конструкций с учетом их структуры.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных уравнениях механики упругих деформируемых тел, методы решения математически строги и непротиворечивы, реализованные алгоритмы исследованы на сходимость, приведено сравнение полученных автором результатов с известными результатами других авторов;

идея базируется на обобщении передового опыта моделирования напряженно-деформированного состояния функционально-градиентных пористых материалов;

использованы сравнения полученных результатов с результатами других авторов, а также сравнения результатов, полученных с помощью разных методов и данных экспериментальных исследований;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках в частных случаях, и с данными экспериментальных исследований;

использованы современные методы математического моделирования, информационные и компьютерные методы визуализации полученных результатов.

Личный вклад соискателя состоит в разработке постановок задач, построении всех математических моделей в рамках численных методик расчета деформируемости и прочности конструкций с решетчатой, а также нерегулярной и регулярной пористой структурами с учетом влияния параметров, описывающих микроархитектуру структуры, реализации с применением ЭВМ данных методов решения и отладки их работы. На основе данного метода разработаны численные методики коррекции структуры при условии сохранения прочностных свойств. Проведены экспериментальные натурные испытания конструкций с пористой структурой с последующим анализом результатов.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний. Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением

Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. «О порядке присуждения учёных степеней».

На заседании «09» октября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Большакову Павлу Владиславовичу ученую степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи о разработке методов моделирования напряженно-деформируемого состояния элементов конструкций с учетом их структуры, теоретические и практические положения которого имеют значение для развития современной механики деформируемого твердого тела.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 6 докторов физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 10, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета 24.2.327.07
д.ф.-м.н., доцент



Земсков А.В.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.327.07
к.т.н., доцент



Сердюк Д.О.

Проректор по научной работе
д.т.н., доцент



Иванов А.В.

«09» 10 2024 года