

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «27» сентября 2014 № 3

О присуждении Белову Петру Анатольевичу, гражданину России, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация “Математическая теория дефектных сред” по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите 26 мая 2014 г., протокол № 2, диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», 125993, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 - № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Белов Петр Анатольевич, 1954 года рождения, гражданин России, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Обобщенные разложения в задачах механики деформируемого твердого тела» защитил в 1998 году в диссертационном совете Института прикладной механики РАН, работает ведущим инженером Научно-образовательного центра «Новые материалы, композиты и нанотехнологии» Московского государственного технического университета им Н.Э.Баумана.

Диссертация выполнена в открытом акционерном обществе «Московский машиностроительный экспериментальный завод – композиционные технологии» государственной корпорации «РосТехнологии».

Научный консультант – **Лурье Сергей Альбертович**, доктор технических наук, профессор, работает в Институте прикладной механики РАН заведующим лабораторией неклассических моделей механики композиционных материалов.

Официальные оппоненты:

1. **Вахрушев Александр Васильевич**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики УрО РАН, заведующий лабораторией;

2. **Ерофеев Владимир Иванович**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное Учреждение науки Институт проблем машиностроения РАН, заместитель директора по научной работе;

3. **Шоркин Владимир Сергеевич**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс", заведующий кафедрой «Физика» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук**, в своем положительном заключении, составленном заведующим лабораторией интеллектуального мониторинга отдела комплексных проблем механики деформируемых твердых тел, доктором физико-математических наук, профессором **Шардаковым Игорем Николаевичем** и подписанном директором Института

механики сплошных сред УрО РАН, доктором технических наук, профессором, академиком РАН В.П. Матвеевко, указала, что соискатель имеет 111 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 71 работу, из них 40 – опубликованных в рецензируемых научных изданиях, а 31 работа - в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Белов П.А., Лурье С.А. «Общая теория дефектов сплошных сред», 2003, " Механика композиционных материалов и конструкций ", Т.9, №4, стр. 471-485.
2. Образцов И.Ф., Лурье С.А., Белов П.А., Волков-Богородский Д.Б., Яновский Ю.Г., Кочемасова Е.И., Дудченко А.А., Потупчик Е.М., Шумова Н.П. «Основы теории межфазного слоя», 2004, " Механика композиционных материалов и конструкций ", Т.10, №4, стр. 596-612.
3. Белов П.А., Лурье С.А. «Континуальная модель микрогетерогенных сред», 2009, «Прикладная математика и механика», Т. 73. № 5. стр. 599-608.
4. Белов П.А., Лурье С.А. «Теория идеальных адгезионных взаимодействий», Механика композиционных материалов и конструкций, 2007, Т. 13. № 4. С. 519-536.
5. Белов П.А., Лурье С.А. «Континуальная теория адгезионных взаимодействий поврежденных сред», Механика композиционных материалов и конструкций. 2009. Т. 15. № 4. С. 610-629.
6. Белов П.А. «Теория сред с сохраняющимися дислокациями. Обобщение модели Миндлина», Композиты и наноструктуры. 2011. № 1. С. 24-38.
7. Белов П.А. «Об одной двухпараметрической градиентной модели деформируемых сред», Механика композиционных материалов и конструкций. 2011. Т. 17. № 2. С 170-176.

8. Белов П.А., Лурье С.А. «Идеальная несимметричная 4D-среда как модель обратимой динамической термоупругости», Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. 2012. № 5. С. 108-120.
9. Лурье С.А., Белов П.А. «О масштабных эффектах в механике хрупкого разрушения», 2013, "Деформации и разрушение материалов", № 5, стр. 10-17.
10. Белов П.А., Нелюб В.А. «Теория сред с сохраняющимися дислокациями. О единой природе адгезионных и реберных взаимодействий», 2013, "Клеи. Герметики. Технологии", №5, стр. 28-34
11. Белов П.А. «Теория сред с сохраняющимися дислокациями. О единой природе когезионных и адгезионных взаимодействий», 2013, Сборник трудов Международной заочной научно-практической конференции "«Актуальные вопросы образования и науки»", Россия, Тамбов, 30 декабря 2013 г.
12. Белов П.А. «Пространство моделей градиентных теорий упругости», 2013, Сборник трудов Международной заочной научно-практической конференции "«Актуальные вопросы образования и науки»", Россия, Тамбов, 30 декабря 2013 г.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- от ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук. Отзыв положительный;
- от официального оппонента Вахрушева Александра Васильевича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики УрО РАН. Отзыв положительный;
- от официального оппонента, Ерофеева Владимира Ивановича, доктора физико-математических наук, профессора, Федеральное государственное бюджетное Учреждение науки Институт проблем машиностроения РАН, заместитель директора по научной работе. Отзыв положительный;

от официального оппонента, Шоркина Владимира Сергеевича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «Физика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс". Отзыв положительный;

от заведующего кафедрой «Высшая математика» Гюмрийского государственного педагогического института, члена-корреспондента НАН Армении, доктора физико-математических наук, профессора Саркисяна Самвела Оганесовича. Отзыв положительный;

от заведующего кафедрой «Математическое моделирование систем и процессов» Пермского национального исследовательского политехнического университета, доктора физико-математических наук, профессора Трусова Петра Валентиновича. Отзыв положительный;

от Главного научного сотрудника ИФПМ СО РАН, доктора физико-математических наук, профессора Князевой Анны Георгиевны. Отзыв положительный;

от заведующего отделом математических методов механики материалов и конструкций Института проблем машиноведения РАН, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника Фрейдина Александра Борисовича. Отзыв положительный;

от заведующего лабораторией механики композиционных материалов ФГБУН Института машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, доктора физико-математических наук, Думанского А.М. Отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационной работы, дан краткий обзор работы, отмечены новизна и достоверность полученных результатов, а также их практическая значимость. Отмечен положительный факт того, что автором:

- сформулирована модель механики дефектных сред, из которой, как частные случаи, вытекают известные градиентные модели как идеальных (бездефектных) сред, так и сред с полями сохраняющихся дислокаций;

- сформулированы алгоритмы построения и построены обоснованно упрощенные модели прикладных инженерных теорий;

- в рамках прикладных инженерных теорий сформулированы постановки тестовых задач, получены точные и приближенные аналитические решения;

- построенные решения сравнивались с экспериментальными данными, устанавливающими наличие неклассических эффектов, взятыми из публикаций различных авторов, и отмечалось качественное и количественное совпадение теоретически предсказанных и экспериментально зафиксированных масштабных эффектов.

В поступивших отзывах имеются следующие замечания:

1. Термин «силовая модель среды» требует пояснения.
2. Научная новизна в автореферате сформулирована слишком обтекаемо. Не ясно, что следует из сопоставления модели автора с уже известными. Может ли вообще процесс сопоставления считаться новизной?
3. В автореферате автор утверждает, что предложена «новая классификация полей дислокаций», но не поясняет, в чем она заключается. Скалярные поля дефектов типа вакансий давно известны, например, в моделях твердофазной диффузии. Несплошности, связанные с явлением кавитации и дефекты типа двойников также известны в физике твердого тела и их нельзя считать новыми.
4. Во второй главе излишне много внимания уделено известным положениям кинематики классических (бездефектных) сред.
5. В третьей главе излишне много внимания уделено рассмотрению частных случаев общей универсальной линейной вариационной формы работы внутренних сил.

6. В четвертой главе, в разделе 4.6. «Модели сред с адгезионными свойствами поверхностей» сформулированы модели «антисимметрично градиентной адгезии», «симметрично градиентной адгезии» и «упрощенной градиентной адгезии», которые в дальнейшем не были исследованы и не получили развития.
7. В пятой главе, в разделе 5.2., сформулирована модель «простейшей» теории когезионного поля с учетом адгезионных взаимодействий на поверхности, что выбивается из общего стиля этой главы, посвященной исследованию систем уравнений равновесия, а не краевым задачам.
8. В пятой и шестой главе широко используются понятия адгезионного и когезионного взаимодействия. Автор не достаточно ясно сформулировал отличия между использованными в диссертации и известными в физике понятиями когезии и адгезии. Не достаточно явно сформулированы ограничения на спектры краевых задач для тех или иных моделей когезионных взаимодействий при учете адгезионных взаимодействий.
9. Учитывая различие механических свойств в объеме тела, на его поверхности, ребрах и угловых точек, автор диссертации фактически рассматривает взаимодействие тел разной размерности, вложенных в одно трехмерное пространство. Особенности таких взаимодействий надо было рассмотреть более подробно.
10. В шестой главе целесообразно было выявить, какими специфическими свойствами должны обладать ребра и вершины многогранных поверхностей.
11. В шестой главе не сформулированы модели градиентной адгезии, учитывающие быструю переменность кинематических переменных на поверхности, потенциальная энергия которых содержит тензоры адгезионных модулей шестого ранга. В частности, не сформулирована модель «идеальной среды Тупина с идеальной и

градиентной адгезией поверхностей», использованная в седьмой главе для исследования механических свойств 2D-структур типа графена.

12. В седьмой главе выведена и использована градиентная теория адгезии для формулировки теории 2D-структур, типа графена. Представляется, что было бы логичнее перенести формулировку градиентной теории адгезии в шестую главу, а в седьмой сосредоточиться на её приложении к 2D-структурам.

13. Вызывает сожаление, что градиентная теория адгезии не была использована в приложении к одностенным нанотрубкам и фуллеренам, так как технически это не намного сложнее, чем для графена.

14. Первое и второе приложения к диссертации не имеют научной новизны и интересны только как иллюстративный пример техники построения тензоров модулей.

15. Третье приложение к диссертации представляется несколько эклектичным, поскольку формальная техника построения тензоров шестого ранга смешивается в разделах 9.3.2 и 9.3.3. с достаточно серьезными физическими идеями. В разделе «Определение «существенных» и «несущественных» модулей» не исследован случай, когда дивергентное слагаемое приводится к канонической квадратичной *неположительно* определенной форме на поверхности тела.

16. В Приложениях мало внимания уделено тем базисным тензорам и модулям, которые отражают диссипативные свойства (не удовлетворяют требованию существования потенциальной энергии).

17. В диссертации отсутствуют акты внедрения результатов, полученных в диссертационной работе.

в ряде отзывов содержатся редакционные замечания, касающиеся оформления текста диссертации и автореферата.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации

обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, а ведущая организация – одной из передовых организаций, занимающейся современными проблемами в теории дефектных сред.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика построения спектра моделей дефектных и бездефектных сред с помощью «кинематического» вариационного принципа и общей кинематической теории полей дефектов;

предложена новая процедура построения в общем случае анизотропных тензоров модулей четвертого, пятого и шестого рангов;

доказано существование областей в деформируемом твердом теле, в которых имеют место неклассические (масштабные) эффекты, интерпретируемые как погранслои (межфазные слои);

вводились новые понятия и термины: поля дефектов как поля разрывов, понятия ранга, типа, сорта, глубины дефектности поля дефектов, поверхности Бюргерса, когезионных взаимодействий, когезионных перемещений, характерных длин когезионных взаимодействий, адгезионных взаимодействий, идеальной, поврежденной и градиентной адгезии, характерных длин адгезионных взаимодействий, адгезионных волн.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

- **доказано**, что область неклассических эффектов локализуется в окрестностях поверхностей, ребер и точек возмущения и может быть определена как некоторый погранслой (межфазный слой);

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использована** разработанная автором процедура формулировки корректно упрощенных моделей дефектных и бездефектных сред;

изложена процедура построения кинематических моделей дефектных сред

как последовательности квадратур соотношений типа Коши и условий их существования;

раскрыты механизмы возникновения и залечивания микротрещин;

на примере приближенного аналитического решения для несингулярной трещины **изучено** влияние неклассических механических свойств на размер области вокруг вершины трещины, внутри которой модель классической теории упругости нельзя считать применимой;

проведена модернизация существующих представлений о полях дислокаций и предложено новое их определение, дающее возможность сформулировать для новых типов полей дислокаций дифференциальные законы сохранения или генерации/уничтожения.

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

определены направления практического использования результатов исследований при проектировании мелкодисперсных композитов и нанокompозитов, тонких пленок и при определении их трещиностойкости;

представлена стратегия рационального выбора модели дефектной среды и количества подлежащих экспериментальному определению неклассических модулей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

экспериментальные данные, устанавливающие наличие неклассических эффектов, полученные различными авторами, дают качественное и количественное совпадение с теоретически предсказанными масштабными эффектами;

теория построена с привлечением классических физических представлений об изучаемом явлении, основывается на применении классических математических методов (вариационное исчисление, тензорная алгебра и анализ, уравнения математической физики и прямые вариационные методы) и опирается на сравнение полученных приближенных и точных аналитических решений с экспериментальными

данными различных авторов;

идея базируется на анализе известных градиентных теорий и их теоретическом обобщении;

использовано сравнение частных случаев авторской модели и моделей, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное и количественное соответствие авторских результатов теоретического моделирования масштабных эффектов с результатами экспериментальных исследований;

использованы сведения, содержащиеся в литературе по рассматриваемой тематике;

Личный вклад соискателя состоит в формулировке:

- общей кинематической теории полей дефектов,
- «кинематического» вариационного принципа,
- модели среды с полями сохраняющихся дислокаций, являющейся обобщением большинства известных градиентных моделей,
- модели когезионных взаимодействий,
- обобщенной модели адгезионных взаимодействий, включая идеальную, поврежденную и градиентную модели адгезии,
- обобщенной и прикладной модели межфазного слоя,

в проведении расчетов и сравнении результатов расчетов с экспериментальными данными, взятых из публикаций различных авторов.

Диссертация **охватывает** основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана теоретических исследований, формулировки прикладных задач и их точным или приближенным решением, а также взаимосвязанностью сделанных выводов.

На заседании 24 сентября 2014 года диссертационный совет принял решение присудить Белову П.А. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 16, против присуждения учёной степени 1, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного

совета Д 212.125.05 д.ф.-м.н., профессор

Д.В. Тарлаковский

Ученый секретарь диссертационного

совета Д 212.125.05 к.ф.-м.н.

Г.В. Федотенков

24 сентября 2014 г.

