

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук Лисовенко Дмитрия Сергеевича на диссертацию Волкова Александра Владимировича **«Применение микро-дилатационной теории упругости для уточнённого моделирования напряжённо-деформированного состояния пористых материалов»**, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - «Механика деформируемого твёрдого тела»

Актуальность работы

В последнее время активно стали изучаться материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона (ауксетики). В исследованиях ауксетиков можно выделить следующие направления: кристаллические материалы, метаматериалы и конструкции, пористые материалы, композиты, цеолиты. Данные ауксетические материалы находят широкое применение – фильтры, композиты, медицинские приборы, заклепки, защитные материалы и конструкции. В связи с этим необходима информация о механических свойствах материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона. Диссертация Волкова А.В. посвящена разработке методов уточненного описания пористых материалов, как сред с микро-дилатацией, и разработка теоретической базы для идентификации материальных констант микро-дилатационной теории на основе простых экспериментальных методик. Актуальность темы не вызывает сомнений.

Краткий анализ содержания работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 111 наименований.

Во **введении** обосновывается актуальность темы исследования, формулируется цель, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, причисляются основные результаты и положения, выносимые на защиту, приводится информация об апробации работы, о структуре диссертации.

В **первой главе** представлено литературный обзор современного состояния в области теории упругости с микро-дилатацией.

Вторая глава посвящена формулировке модели и вывода постановки краевой задачи теории упругости пористых сред в стационарном случае с учетом поверхностных эффектов с помощью вариационного подхода.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 03 12 2019

В **третьей главе** дано решение задачи чистого изгиба балки в рамках микро-дилатационной теории упругости с поверхностными эффектами. Построенное аналитическое решение в данной главе было сопоставлено с численным трехмерным моделированием. Продемонстрировано выполнение принципа Сен-Венана в микро-дилатационной теории упругости: граничные условия, сформулированные относительно напряжений в численном решении или в интегральной форме в аналитическом решении, вызывают одинаковое напряженное состояние вдали от границ.

В **четвертой главе** рассмотрено численное решение для различных задач изгиба в рамках микро-дилатационной теории. Рассмотрены четырёхточечный, трёхточечный и консольный изгиб. Для задач изгиба введены эффективные модули упругости. Показано, что введенные эффективные модули одинаковым образом зависят от толщины балки с микро-дилатацией. Показана возможность применения аналитического решения, следующего из задачи о чистом изгибе балки, для описания зависимости модуля упругости балки с микро-дилатацией от ее толщины в различных испытаниях на изгиб). Установлено, что по данной зависимости можно идентифицировать дополнительные материальные константы теории. Для задачи консольного изгиба балки было отдельно исследовано влияние длины балки на значение эффективной жесткости.

В **пятой главе** предложено обобщение линейной микро-дилатационной теории упругости на случай температурных эффектов. Построены аналитическое и численное решения о деформациях пористого слоя на упругом основании.

В **шестой главе** рассмотрена задача неравномерного прогрева толстостенного цилиндра с внутренним и внешним радиусами. Численное решение строилось с помощью методов конечных элементов. В рассмотренной задаче предполагалось, что температура изменяется только в радиальном направлении, и задача является осесимметричной. Определялись напряжения и изменение пористости в нагреваемом цилиндре с учетом эффектов микро-дилатации.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Основные результаты диссертационной работы, полученные лично соискателем и обладающие новизной:

- 1) Для микро-дилатационной теории упругости и термоупругости реализовано трехмерное численное моделирование. Точность получаемых численных решений подтверждена сравнением с аналитическими решениями.

- 2) Построено аналитическое решение задачи чистого изгиба балки с учётом наличия эффектов микро-дилатации на поверхности среды.
- 3) Построены и сопоставлены численное и аналитическое решение для задачи прогрева двухслойной полосы в рамках микродилатационной теории термоупругости, а также для различных задач изгиба.
- 4) Построено численное решение для задачи прогрева полого цилиндра в рамках микродилатационной теории термоупругости.

Достоверность научных положений, выносимых на защиту

Достоверность полученных результатов в диссертации подтверждена корректной постановкой задач, математически обоснованными методами решения, сравнениями результатов с известными решениями.

Замечания по диссертации:

- 1) Во Введении диссертации и Главе 1 «Современное состояние проблемы» приведены результаты только в области развития неклассических теорий упругости (теория упругости Коссера, теория упругости с микро-дилатацией и др.). На стр.8 написано, что «микро-дилатационная теория упругости может применяться для моделирования материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона (ауксетиков)». В качестве замечания можно указать, что в диссертации отсутствует литературный обзор механических свойств ауксетиков и их практического применения.
- 2) На стр.4 во Введении указано, что «Коэффициент Пуассона в классической теории упругости может принимать значения от -1 до 0.5, что определяется требованием положительной определенности энергии деформаций». В качестве замечания можно отметить, что это верно только для изотропных сред. В случае анизотропных сред в общем случае ограничения на коэффициент Пуассона отсутствуют.
- 3) На стр.6 приведены разделы «Задачи работы» и «Результаты, выносимые на защиту». В данных разделах отсутствует пункт 3.
- 4) На стр.9 во Введении в «Апробации работы» приведены основные положения и результаты диссертации, доложенные на различных конференциях. В качестве замечания можно отметить, что в пункте 5 не указаны название конференции и другие выходные данные. Также стоит указать, что выходные данные для пунктов 2,3 и 7 представлены как для статей, а не конференций.
- 5) На стр.10-11 представлены три работы, опубликованные в журналах из списка ВАК и Scopus. Все три статьи оформлены не в едином стиле. Также в двух статьях из списка

Scopus отсутствуют том и номер в выходных данных, а в статье из списка ВАК – номера страниц.

- 6) На стр.14 написано, что « g - это объёмная сила (размерность Ньютон/Метр²)». В качестве замечания можно отметить, что объёмная сила имеет другую размерность.
- 7) В диссертации для обозначения одного и того же выражения используются разные обозначения (например, φ и ϕ , см. стр.13 формула (3) и стр.17).
- 8) На стр.19 написано, что «В экспериментальных работах R. Lakes и соавторов [72,97] было показано, что микро-дилатационная теория не применима для описания изотропных полимерных пен-ауксетиков [73]». В качестве замечания можно отметить, что Р. Лейкс в своих работах указывает, что данные полимерные пены не являются изотропными средами.
- 9) В диссертации присутствуют ошибки в перекрестных ссылках на формулы. Например, на стр.31 дана ссылка на формулу (24) со словами «На основании анализа уравнения равновесия (24)...». При этом сама формула в диссертации описывает граничные условия. Опечатки также присутствует на стр.33 при ссылке на формулу (40), на стр.53 при ссылке на формулы (52), (53), на стр.64 при ссылке на формулу (6).
- 10) На стр.49 в подписи Рис.15 допущены опечатки в размерностях (н/мм).
- 11) На стр.73 написано: «В интерфейсе Comsol граничные условия задаются как показано ниже:». В качестве замечания можно отметить, что после этой фразы ссылки на какой-то рисунок или формулу отсутствуют.
- 12) На стр.76 в таблице 1 приведены значения различных физических величин. При этом не даны источники откуда были взяты эти значения.
- 13) На стр.86 в тексте указано, что внешний и внутренний радиусы будут обозначаться r_0 и r_i . При этом эти же радиусы на Рис.35 обозначены как R_0 и R_i .
- 14) На стр.90 в описании к Рис.37 отсутствуют размерности у температур.
- 15) На Рис.40-48 отсутствуют размерности внешнего и внутреннего радиусов.
- 16) На Рис.48 подпись на одной из осей не соответствует подписи под рисунком.
- 17) В диссертации автор особое внимание уделяет сравнению численного и аналитического решений задач. Результаты такого сравнения приводятся на различных рисунках. В качестве замечания можно отметить, что автор слабое внимание уделил описанию механических эффектов при решении различных задач из диссертации.
- 18) Список литературы в диссертации оформлен не в едином стиле. Очень часто в источниках отсутствуют тома и номера журналов, номера страниц. В англоязычных

источниках присутствует русскоязычные символы «б.м.» (источники 38, 40, 44, 47 и т.д.).

19) В диссертации присутствует большое количество опечаток.

Замечания по автореферату:

1. Все статьи по теме диссертации, представленные в автореферате, имеют трех или более соавторов. В качестве замечания можно указать, что в автореферате отсутствует раздел «Личный вклад автора».
2. На стр.6 приведен раздел «Апробация работы», в котором указаны шесть конференций, где докладывались основные положения и результаты диссертации. Во всех пунктах не указаны полные выходные данные, например, статус конференций, а в пунктах 2,5,6 место проведения. Также в пункте 5 не приведены фамилии авторов работы.
3. На Рис.12 (стр.20) приведены значения температур, но не даны размерности.
4. На стр.22 в разделе «Прочие публикации по тематике диссертационной работы» пункт 8 содержит только фамилии авторов и название работы, т.е. данный пункт не имеет полных выходных данных.
5. В автореферате имеются опечатки.

Указанные замечания имеют рекомендательный характер и не снижают научной ценности работы.

Заключение

Представленная к защите диссертация является законченной научно-квалификационной работой, посвящённой актуальной теме и выполненной на высоком уровне. Полученные в работе результаты обладают новизной, представляют как научный, так и практический интерес, соответствуют пунктам 4 и 8 паспорта специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела». Выносимые на защиту положения прошли достаточную апробацию и были опубликованы в 3 статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК и индексируемых в Web of Science и Scopus. Автореферат полно отражает основные результаты диссертации.

Считаю, что диссертация «Применение микро-дилатационной теории упругости для уточнённого моделирования напряжённо-деформированного состояния пористых материалов» полностью соответствует критериям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждения ученых степеней» (Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), «О внесении изменений в Положение о присуждения ученых степеней (Постановление

Правительства РФ от 21.04.2016 г. № 335), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Волков Александр Владимирович, несомненно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент:

Заведующий лаборатории механики
технологических процессов

Института проблем механики

имени А.Ю. Ишлинского РАН,

Доктор физико-математических наук

«09» декабря 2019 г.

Лисовенко Дмитрий Сергеевич

Контактные данные:

Телефон: +7(495) 433-34-96

email: lisovenk@ipmnet.ru

Адрес места работы:

Федеральное государственное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю.

Ишлинского Российской академии наук

119526, г. Москва, проспект Вернадского, д. 101, к. 1.

Телефон: +7(495) 434-00-17

Сайт: <https://www.ipmnet.ru>

Подпись Д.С. Лисовенко заверяю

Ученый секретарь ИПМех РАН

к.ф.-м.н.



М.А. Котов