

Диссертация содержит введение, пять глав, основные выводы, приложения, список литературы из 242 наименований. Общий объем диссертации составляет 392 страницы.

Во **введении** дан обзор результатов исследований различных авторов по рассматриваемым в диссертации проблемам, приведены общие сведения об ауксетиках, результаты некоторых экспериментальных исследований, обоснована актуальность темы диссертации и приведено краткое содержание ее разделов.

В **первой главе** с помощью определяющих соотношений линейной теории упругости анизотропного тела исследованы зависимости модуля Юнга, коэффициента Пуассона и модуля сдвига на примере кристаллов с кубической, гексагональной, ромбоэдрической, тетрагональной и орторомбической кристаллической решеткой. Изучен характер и некоторые особенности данных зависимостей. Численный анализ зависимостей модуля Юнга, коэффициента Пуассона и модуля сдвига проводился с помощью экспериментальных данных из справочника Ландолт-Бернштейна.

В качестве основного результата данной главы следует отметить, что на основе анализа более 2000 кристаллов с различным типом анизотропии выявлено свыше 450 кристаллов с отрицательным коэффициентом Пуассона. Наибольшее количество выявлено среди кристаллов с кубической анизотропией. Для кристаллов, обладающих кубической и гексагональной анизотропией, предложены классификационные схемы, позволяющие выявить ауксетики. Также выписаны необходимые и достаточные условия для поиска ауксетиков среди кристаллов различных кристаллических систем. Предложена механическая модель для орторомбических кристаллов бифталатов, объясняющая ауксетическое поведение.

Во **второй главе** впервые в рамках теории упругости анизотропного тела для анализа механических свойств нано/микротрубок предложена модель полого стержня, обладающего цилиндрической анизотропией. Для задач растяжения и кручения в рамках подхода Сен-Венана получены выражения для модуля Юнга, коэффициента Пуассона и крутильной жесткости для нано/микротрубок. В

результате численного анализа установлено, что многие нано/микротрубки (более 1000) с кубической, гексагональной, ромбоэдрической, тетрагональной и орторомбической цилиндрической анизотропией проявляют ауксетические свойства.

Во второй главе также исследовались упругие характеристики двухслойных нано/микротрубок из кубических кристаллов. Показано, что такие трубки могут проявлять ауксетические свойства если они состоят из двух неауксетиков. Установлено, что большое влияние на отрицательность эффективного коэффициента Пуассона оказывает величина модуля Юнга неауксетиков, заполняющих внутренний слой трубки. Впервые установлен линейный эффект Пойнтинга для нано/микротрубок.

В **третьей** главе рассмотрено упругое продольное растяжение тонких двухслойных пластин из изотропных и из кристаллов с кубической и гексагональной анизотропией и тонких трехслойных пластин из кристаллов с кубической анизотропией. В качестве основного результата данной главы следует отметить, что при наличии в слоистых композитах ауксетического слоя нарушается правило смесей, а также эффективный модуль Юнга может быть больше модулей Юнга исходных материалов. Проведен сравнительный анализ продольного эффективного коэффициента Пуассона в зависимости от вида нагрузки (растяжение и изгиб) для трехслойных пластинок из кубических кристаллов.

В **четвертой** главе проведен сравнительный анализ поверхностных волн Релея и Лява для изотропных материалов с положительным и отрицательным коэффициентом Пуассона. Показано для волн Релея, что скорость волн, вертикальная компонента смещений волн, траектория движения частиц и распределение напряжений имеют различия для ауксетиков и неауксетиков. В случае волн Лява анализ проводился для первой моды. Установлены различия поведения скорости волн, смещений и напряжений при положительных и отрицательных значениях коэффициентах Пуассона тонкого слоя и полупространства.

В пятой главе дан анализ упругих свойств фуллеритов, фуллеранов и тубуланов, являющихся перспективными углеродными материалами. Показано, что некоторые из этих материалов проявляют ауксетические свойства.

В приложении содержится дополнительный материал. В приложении 1 представлены табличные данные, в которых содержатся экстремальные значения коэффициента Пуассона для кристаллов-ауксетиков с кубической, гексагональной, ромбоэдрической, тетрагональной и орторомбической анизотропией, а также значения коэффициентов Пуассона для тонких трубок из кристаллов различных кристаллических систем и значения параметра толщины (отношения внешнего радиуса трубки к внутреннему радиусу), при котором происходит смена знака коэффициента Пуассона. В приложении 2 приведены экспериментальные данные упругого поведения ауксетической ячеистой конструкции, изготовленной из аморфного полиэтилентерефталата (ПЭТ-а).

В диссертации получены **новые, важные и фундаментальные научные результаты** для кристаллических материалов с отрицательным коэффициентом Пуассона.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию, отражает актуальность темы исследования, ее цели и задачи, научную новизну, практическую значимость, обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов, сформулированных в диссертации.

Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати.

Основное содержание диссертационной работы, ее главные идеи и результаты в полной мере опубликованы в 45 публикациях в журналах из списка ВАК РФ и журналах, индексируемых в WOS и Scopus.

Достоверность и обоснованность результатов диссертации сомнений не вызывает, т.к. они получены с помощью математического аппарата теории упругости, элементов физики твердого тела и кристаллографии, а также сравнены с результатами исследований других авторов.

Практическая значимость работы связана с возможностью использования полученных результатов в различных областях машиностроения, строительства, авиационной промышленности, космической технике, медицине, при создании новых материалов. Результаты работы могут быть также использованы в Институте Машиноведения им. А.А. Благодарова РАН, МИСИ, МГТУ, МИФИ, МФТИ, МАДИ, ЦАГИ, Институте проблем машиноведения РАН, Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Институте механики сплошных сред УрО РАН, Санкт-Петербургском государственном университете, Кубанском государственном университете, Нижегородском государственном университете.

Замечания по диссертации.

1. Согласно результатам работы многие кристаллические материалы проявляет ауксетические свойства хотя бы в каком-либо из направлений. Представляет интерес вопрос: можно ли дать оценку среднего числа таких материалов среди общего числа кристаллических тел?

2. Вывод №5 в автореферате и диссертации требует дополнительных пояснений: что именно дал сравнительный анализ поверхностных волн Релея и Лява?

3. В работе проявление ауксетических свойств проанализировано с макроскопической точки зрения. Однако, на указанные свойства могут влиять микроскопические характеристики: внутренняя структура системы, в частности, переходные слои, находящийся на границе кристаллических фаз. Этот вопрос можно порекомендовать в качестве одного из направлений дальнейших исследований.

Данные замечания не являются препятствием к вынесению положительной оценки работы в целом, которая представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне и которую можно квалифицировать как **решение важной научной проблемы**, имеющей существенное значение для развития механики нано- и микрообъектов, а также механики материалов.

Отзыв ведущей организации был обсужден на заседании кафедры «Теоретическая механика» Института прикладной математики и механики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертационная работа Лисовенко Д.С. является законченной научно-квалификационной работой, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, несомненен и личный вклад автора в науку.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» считает, что диссертация Лисовенко Дмитрия Сергеевича «Ауксетическая механика изотропных материалов, кристаллов и анизотропных композитов» является научно-квалификационной работой, соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела, а ее автор Лисовенко Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Профессор кафедры
«Теоретическая механика» СПбПУ,
доктор физико-математических наук

Подпись Ивановой Е.А., Кузькина В.А.
УДОСТОВЕРЯЮ
Ведущий специалист
по кадр. Кузькина В.А.
«04» 05



Иванова Е.А.

06.05.19

Доцент кафедры
«Теоретическая механика» СПбПУ,
кандидат физико-математических наук

Кузькин В.А.

06.05.19