

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

к.ф.-м.н., доцента Прохорова Вячеслава Максимовича
о диссертационной работе Володарского Александра Борисовича
«Упругие свойства термопластического полимера акрилонитрил-бутадиен-стирола и амплитудно-частотные характеристики фононных кристаллов на его основе», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7. Акустика

Диссертационная работа посвящена комплексному экспериментальному исследованию линейных и нелинейных упругих свойств полимера ABS (акрилонитрил-бутадиен-стирол), широко используемого в аддитивных технологиях, а также изучению акустических характеристик созданных на его основе фононных кристаллов. Учитывая возрастающее значение 3D-печати в материаловедении и акустике, а также перспективность фононных кристаллов для реализации полосовых и поляризационных фильтров, работа является безусловно актуальной.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Объём диссертации составляет 117 страниц и включает в себя 37 рисунков и 9 таблиц. Список литературы содержит 88 библиографических ссылок.

Во **введении** приведены общие сведения о диссертационной работе, такие как актуальность выбранной темы исследования, цели и задачи, научная новизна и практическая значимость, выносимые на защиту положения, а также информация о публикациях соискателя и данные об апробации результатов работы.

В **первой главе** приведены результаты исследований линейных и нелинейных упругих характеристик ABS-полимеров, как в форме тонких цилиндров, так и 3D-напечатанных. Экспериментальная часть включает применение статических и квазистатических методов, в частности, модифицированного метода Терстона-Браггера. Получен результат, заключающийся в том, что увеличение скорости деформации приводит к возрастанию нелинейных характеристик при сохранении линейных полимера ABS в форме цилиндра. Считается, что увеличение скорости нагрузки приводит к переходу из линейной в пластическую область, при меньших значениях деформации что выражается в увеличении нелинейных упругих параметров исследуемых образцов термопласта ABS. Методы акустической микроскопии позволили визуализировать пластические деформации и локальные изменения упругих свойств полимера и подтвердить предложенное обоснование.

Полученные экспериментальные результаты являются первым опытом, экспериментально описывающим механизм зарождения и развития локальных микроразмерных областей с уменьшенными упругими характеристика-

ми, в которых происходит перестройка надмолекулярной структуры аморфного полимера при растяжении.

Не указаны результаты работы [57]. В пояснении к Таблице 1.1 размерность нелинейных модулей отсутствует. На Рисунках 1.6 и 1.7 не указана размерность скорости нагружения. В параграфе 1.4.2. предложения: «Цилиндрические полимерные образцы длиной 120 мм и диаметром 1.7 мм механически нагружались с регистрацией акустоупругих характеристик полимера без снятия нагрузки. Из образцов, нагруженных до контролируемого уровня механического напряжения, вырезались небольшие участки стержней ...» и далее «После механического нагружения образцы вырезались из экспериментальной ячейки, не снимая с неё нагрузки, и подготавливались для акустической микроскопии» - Можно понимать, что образцы вырезались без снятия нагрузки, а это не так.

Во **второй главе** рассматривается эффект быстрой динамики в 3D-напечатанных образцах ABS, который заключается в зависимости скорости и амплитуды прошедшей волны от амплитуды волны накачки. Экспериментальное исследование проводилось для продольных упругих волн и поперечных упругих волн различной поляризации. Подтверждена логарифмическая зависимость изменения скорости волн от амплитуды накачки и изотропность поведения материала. Также получены степенные зависимости амплитуд прошедших волн от амплитуды накачки. Полученные данные имеют большое практическое значение.

Замечания: На мой взгляд, использование термина «волна накачки» недостаточно обосновано. Используются термины «амплитуда волны накачки», «амплитуда накачки», «сигнал накачки». Возникает впечатление, что в образце распространяются сразу две волны: «накачки» и волна, скорость которой измеряется.

В предложениях: «На рис. 2.2а представлена зависимость продольных волн, распространяющихся вдоль ориентации нитей», «На основании данных об (*изменении*) скорости продольных и поперечных волн сделаны оценки нелинейных изменений модуля упругости. Эти оценки составили 40 МПа и 3.5 МПа для продольного модуля и модуля сдвига соответственно» пропущены определяющие смысл слова.

Выводы к параграфу 2.3 представлены в конце параграфа и частично дублируются в выводах к главе 2.

Третья глава посвящена экспериментальному изучению фононных кристаллов на основе ABS. Рассмотрены кристаллы с твёрдой и жидкой матрицей, исследованы их амплитудно-частотные характеристики при различной ориентации и структуре. Показано наличие полос пропускания и затухания, а также возможность использовать подобные структуры как фильтры или поляризаторы.

Замечания: На Рис. 3.4 перепутаны подписи к указателям 2 и 3. На стр.

77 в предложении «...был изготовлен тестовый образец из в виде куба» пропущено ABS.

Заключение содержит сведения об основных результатах работы, библиографический список опубликованных работ автора по теме диссертации и общий список цитируемой литературы.

Диссертация Володарского А.Б. представляет собой завершённое научное исследование высокого уровня, отличающееся актуальностью, значимостью и выраженной практической ценностью. Работа соответствует современным требованиям к научным исследованиям, что подтверждается публикациями в рецензируемых журналах и активным участием автора во всероссийских конференциях. Полученные экспериментальные данные, сформулированные выводы и выдвигаемые научные положения отличаются обоснованностью и достоверностью.

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы.

В то же время к работе имеется ряд общих замечаний:

- В главе 1 при изучении механических свойств ABS не указаны температура и влажность в помещении, в котором производились измерения, а для ABS это существенно, так он обладает гигроскопическими свойствами.
- Автор использует значения модуля Юнга, определенных двумя методами: квазистатическим, из зависимости механическое напряжение σ – деформация ε (значения $\approx 2.1-2.7$ ГПа) и ультразвуковым, $E = \rho \cdot V^2$ (значения ≈ 5.65 ГПа, стр. 67). Необходимо дать объяснение такой разнице значений модуля.
- Следует отметить отсутствие стандарта и небрежность в оформлении Списка литературы.

При этом указанные замечания призваны помочь автору в будущем излагать материал более доступно и не являются критическими по отношению к проведённым исследованиям. Соискатель получил большое количество важных и принципиально новых результатов, что продвинуло понимание процессов в соответствующей области, поэтому диссертация заслуживает высокой оценки.

Общее впечатление о диссертационной работе А.Б. Володарского положительное. Считаю, что диссертация «Упругие свойства термопластического полимера акрилонитрил-бутадиен-стирола и амплитудно-частотные характеристики фоновых кристаллов на его основе» соответствует специальности 1.3.7. Акустика (по физико-математическим наукам), а также критериям, определённым пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и оформлена согласно

приложениям № 8 и 9 «Положения о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова», а её автор — Володарский Александр Борисович — заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7. Акустика.

Официальный оппонент:

Прохоров Вячеслав Максимович,
кандидат физико-математических наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»), Курчатовский комплекс Технологических исследований сверхтвёрдых и новых углеродных материалов (КК ТИСНУМ), отделение структурных исследований, ведущий научный сотрудник

_____ В.М. Прохоров
«5» ноября 2025 года

Адрес места работы:
108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Центральная, д. 7а
Телефон: +7 (499) 400-62-14
E-mail: pvm@tisnum.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена кандидатская диссертация:
01.04.06 — «Акустика»

Подпись Прохорова Вячеслава Максимовича ЗАВЕРЯЮ:

Заместитель директора —
главный ученый секретарь _____ Алексеева О.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Курчатовский комплекс Технологических исследований сверхтвёрдых и новых углеродных материалов (НИЦ «Курчатовский институт» — КК ТИСНУМ)

Телефон: +7 (499) 400-62-25; e-mail: info@tisnum.ru