

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Крохмаль Алисы Александровны  
«Позиционирование объектов с помощью акустической радиационной силы в  
задачах биофабрикации», представленную на соискание учёной степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 1.3.7 — «Акустика»

Диссертация А.А. Крохмаль посвящена актуальным вопросам использования акустической радиационной силы для манипулирования тканевыми сфероидными и керамическими гранулами в прикладных задачах биофабрикации. Речь идет о микроскопических 3D культурах клеток, имеющих три равноценные степени свободы, в которых клетки проявляют тенденцию к агрегации с последующей установкой межклеточных контактов и образованием микроструктур с минимальным соотношением поверхность/объем, т.е. сферических. Тканевые сфериды в силовой ловушке сливаются и образуют трехмерный тканевый конгломерат, по физическим характеристикам близкий к реальным человеческим тканям. На основе этой идеи автором разработаны методы сборки сплошной трубки из биологических частиц в стоячем ультразвуковом поле, а также в варианте комбинирования акустического и магнитного полей для более эффективного позиционирования частиц. Это актуальное направление, потому что сегодня в различных областях науки и техники применяются акустические методы манипулирования объектами.

Диссертация состоит из вводного раздела, четырех глав и заключения. Работа включает 121 страницу, 36 рисунков, 1 таблицу и 122 библиографические ссылки.

Интерес автора к биофабрикации трубчатых форм связан с потребностями в методах решения проблем васкуляризации тканей. Для достижения обозначенной цели автором выполнены (а) теоретический анализ условий левитации и удержания частиц; (б) оптимизация пьезоэлектрического преобразователя для формирования стоячей цилиндрической волны; (в) определение параметров для практической экспериментальной сборки тканевых сферидов в сильном магнитном поле.

В работе удачно сочетаются теоретическая и экспериментальная части. Так, результаты моделирования акустического поля внутри полого цилиндрического преобразователя согласуются с опытами по биофабрикации трубчатых объектов в стоячем цилиндрическом поле низкой интенсивности при частоте 780 кГц. Интересны также опыты с плоской стоячей волной, опыты в невесомости, опыты с левитацией под действием магнитов различных типов.

Автором проделана большая работа в поддержку основного направления исследований. Создан вычислительный комплекс с графическим интерфейсом, позволяющий рассчитать акустическую радиационную силу, действующую со стороны произвольного звукового поля на твердотельный сферический рассеиватель. Комплекс был реализован для поперечного удержания крупного рассеивателя в поле излучателя. Комплекс доступен для сообщества на отдельном сайте.

Достоверность материалов работы подтверждается согласованием результатов численных и физических экспериментов, а также соответствием результатов данным, полученным в работах других авторов.

Новизна работы заключается в разработке сразу нескольких подходов к левитационной биофабрикации в акустическом, магнитном и магнито-акустическом полях различной конфигурации.

Можно согласиться с положениями, выносимыми автором на защиту, в частности, относительно способности акустической радиационной силы, возникающей в стоячем ультразвуковом меггерцовом поле в жидкости, манипулировать биологическими частицами или относительно возможности осуществлять левитацию тканевых сфероидов субмиллиметрового размера в комбинированном магнито-акустическом поле.

В качестве пожелания сообщу, что, если материал содержит уникальные фотографии, то обычно к подписи добавляют краткие сведения о том, каким образом фотография получена.

Работы А.А. Крохмаль известны в кругах специалистов. Апробация достаточная: результаты докладывались на международных конференциях и опубликованы в высокорейтинговых изданиях. Этические аспекты, связанные с личным вкладом автора, обстоятельно пояснены.

Текст автореферата написан грамотно, на высоком научном уровне. Текст автореферата включает развернутый обзор предыдущего опыта (что необычно). Таким образом, автореферат может использоваться в качестве полезного справочного материала.

В целом, диссертация является законченным исследованием и соответствует всем требованиям к кандидатским диссертациям «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова». Считаю, что автор диссертационной работы Крохмаль Алиса Александровна заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.7. «Акустика».

Заведующий отделением теоретической и прикладной акустики АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева», доктор физико-математических наук (01.04.06 — акустика), профессор

Согласен на обработку персональных данных.  
Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева  
Россия, 117036, г. Москва, улица Шверника, 4  
телефон: +7(499) 126-74-01  
e-mail: egerev@akin.ru

«\_\_» декабря 2022 года

Егерев Сергей Викторович

Подпись профессора Егерев С.В. заверяю.  
Начальник отдела кадров АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева»

С.А. Золотарева