



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА**

**Заключение диссертационного совета МГУ.013.6
по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук**

Решение диссертационного совета от 19 октября 2023 года № 10

О присуждении Пономарчук Екатерине Максимовне, гражданке Российской Федерации 1997 года рождения, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Механическое разрушение биологических тканей в фокусированных импульсно-периодических ударноволновых полях» по специальности 1.3.7. «Акустика» принята к защите 7 сентября 2023 года, протокол № 6, диссертационным советом МГУ.013.6.

Соискатель Пономарчук Екатерина Максимовна в 2020 году окончила физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Физика» со специализацией «Физическая и прикладная акустика». С 1 октября 2020 года по настоящее время обучается в очной аспирантуре Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Акустика». В настоящее время работает физиком (1/2 ставки) кафедры акустики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Диссертация выполнена на кафедре акустики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель — Хохлова Вера Александровна, доктор физико-математических наук, доцент, доцент кафедры акустики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный консультант — Буравков Сергей Валентинович, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник кафедры экологической и экстремальной медицины факультета фундаментальной медицины Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

Есипов Игорь Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики факультета разработки нефтяных и газовых месторождений Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И.М. Губкина,

Рыбьянец Андрей Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник отделения сегнетопьезоматериалов, приборов и устройств Научно-исследовательского института физики Южного федерального университета,

Демин Игорь Юрьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры акустики радиофизического факультета Национального исследовательского Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского, —

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 38 опубликованных работ, все по теме диссертации, из них 8 статей в рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих Положению о присуждении учёных степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.7. «Акустика». Все представленные в работе результаты получены автором лично или при его определяющем участии:

1. **Ponomarchuk E.M.**, Yuldashev P.V., Nikolaeva D.A., Tsysar S.A., Mironova A.A., Khokhlova V.A. *Nonlinear ultrasound fields generated by an annular array with electronic and geometric adjustment of its focusing angle* // *Acoustical Physics*. 2023. Vol. 69. No. 4. P. 459–470. **IF = 0,8 (WoS)**
2. Rosnitskiy P.B., Tsysar S.A., Karzova M.M., Buravkov S.V., Malkov P.G., Danilova N.V., **Ponomarchuk E.M.**, Sapozhnikov O.A., Khokhlova T.D., Schade G.R., Maxwell A.D., Wang Y.N., Kadrev A.V., Chernyaev A.L., Okhobotov D.A., Kamalov A.A., Khokhlova V.A. *Pilot ex vivo study on non-thermal ablation of human prostate adenocarcinoma tissue using boiling histotripsy* // *Ultrasonics*. 2023. Vol. 133. P. 107029. **IF = 4,2 (WoS)**
3. **Ponomarchuk E.M.**, Hunter C., Song M., Khokhlova V.A., Sapozhnikov O.A., Yuldashev P.V., Khokhlova T.D. *Mechanical damage thresholds for hematomas near gas-containing bodies in pulsed HIFU fields* // *Physics in Medicine and Biology*. 2022. Vol. 67. No. 21. P. 215007. **IF = 3,5 (WoS)**
4. Khokhlova V.A., Rosnitskiy P.B., Tsysar S.A., Buravkov S.V., **Ponomarchuk E.M.**, Sapozhnikov O.A., Karzova M.M., Khokhlova T.D., Maxwell A.D., Wang Y.N., Kadrev A.V., Chernyaev A.L., Chernikov V.P., Okhobotov D.A., Kamalov A.A., Schade G.R. *Initial assessment of boiling histotripsy for mechanical ablation of ex vivo human prostate tissue* // *Ultrasound in Medicine and Biology*. 2023. Vol. 49. No. 1, P. 62–71. **IF = 2,9 (WoS)**
5. **Ponomarchuk E.M.**, Rosnitskiy P.B., Khokhlova T.D., Buravkov S.V., Tsysar S.A., Karzova M.M., Tumanova K.D., Kunturova A.V., Wang Y.N., Sapozhnikov O.A., Trakhtman P.E., Starostin N.N., Khokhlova V.A. *Ultrastructural analysis of volumetric histotripsy bio-effects in large human hematomas* // *Ultrasound in Medicine and Biology*. 2021. Vol. 47. No. 9. P. 2608–2621. **IF = 2,9 (WoS)**
6. Khokhlova T.D., Kucewicz J.C., **Ponomarchuk E.M.**, Hunter C., Bruce M., Khokhlova V.A., Matula T.J., Monsky W. *Effect of stiffness of large extravascular hematomas on their susceptibility to boiling histotripsy liquefaction in vitro* // *Ultrasound in Medicine and Biology*. 2020. Vol. 46. No. 8. P. 2007–2016. **IF = 2,9 (WoS)**
7. Топчу К.Д., **Пономарчук Е.М.**, Кунтурова А.В., Росницкий П.Б., Хохлова Т.Д., Ванг Я.Н., Хохлова В.А., Буравков С.В. *Изменение морфологических характеристик клеток цельной человеческой крови и сгустков свиной крови при различных способах ее хранения* // *Клиническая и экспериментальная морфология*. 2019. Т. 8. № 4. С. 42–48. **IF = 0,275 (РИНЦ)**
8. Буравков С.В., **Пономарчук Е.М.**, Хохлова Т.Д., Ванг Я.Н., Хохлова В.А. *Морфологические проявления повреждения печени свиньи при воздействии высокоинтенсивным импульсным фокусированным ультразвуком in vivo* // *Клиническая и экспериментальная морфология*. 2017. Т. 6. № 3. С. 38–43. **IF = 0,275 (РИНЦ)**

На автореферат диссертации поступило 4 отзыва, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются специалистами в области акустики, медицинского ультразвука и имеют публикации по тематике диссертации. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой,

в которой на основании выполненных автором исследований получены закономерности в нелинейных фокусированных ультразвуковых полях различных многоэлементных решеток, проведен многопараметрический анализ вызываемых ими механических разрушений в биологических тканях различной жесткости и разработаны методы повышения эффективности и безопасности такого воздействия.

Результаты диссертации могут быть использованы в МГУ имени М.В. Ломоносова и других высших учебных заведениях в основных образовательных программах при создании новых и обновлении имеющихся материалов учебных курсов. Также полученные в работе закономерности, наблюдаемые в нелинейных полях многоэлементных решеток, и разработанные рекомендации могут применяться в различных приложениях, основанных на использовании нелинейных ультразвуковых волн. Исследованная в работе многопараметрическая связь параметров ультразвукового воздействия и различных свойств биологических тканей, а также предложенные методы анализа результата воздействия и разработанные рекомендации могут быть использованы на практике для неинвазивного механического разрушения тканей ударно-волновыми ультразвуковыми импульсами. Разработанный метод определения опасной зоны вблизи фокуса ультразвукового излучателя по численно предсказываемому акустическому полю может быть использован на практике для планирования безопасной процедуры механической деструкции биологических тканей при клиническом применении методов гистотрипсии.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. При электронном смещении фокуса многоэлементных фазированных решеток амплитуда ударного фронта в нем меняется значительно сильнее, чем амплитуда давления при линейной фокусировке (например, при смещении фокуса в сторону решетки с уменьшением давления в линейном поле на 10% амплитуда развитого разрыва увеличивается на 74%). Пред- и постфокальное электронное смещение фокуса приводит к образованию и увеличению в амплитуде, соответственно, пост- и предфокального побочного максимума, с возможным образованием ударных фронтов в постфокальной области. В связи с этим, геометрический способ управления углом фокусировки пучка, позволяющий избежать образования высокоамплитудных побочных максимумов и формирования ударных волн вне фокального пятна, является более предпочтительным по сравнению с электронным способом регулировки угла фокусировки фазированных решеток.
2. С помощью милли- и субмиллисекундных ударно-волновых ультразвуковых импульсов осуществимо неинвазивное механическое разрушение крупной гематомы человека до фрагментов с длиной, не превышающей 210 мкм, и потому не препятствующих их аспирации. Устойчивость гематомы к механическому разрушению определяется не только ее упругим модулем, но и степенью ретракции при постоянной жесткости. Использование субмиллисекундных импульсов по сравнению с миллисекундными позволяет ускорить процесс разрушения в 8 раз (до 2.62 мл/мин) без потери эффективности разрушения.
3. Механическое разрушение ткани предстательной железы человека, а также доброкачественных и злокачественных опухолей в ней осуществимо методом гистотрипсии с кипением и может быть ускорено как минимум в 2 раза путем использования более коротких импульсов (1-мс по сравнению с 10-мс импульсами).
4. Величина пороговой механической дозы как произведения длительности импульсов на их количество на фокус при условии инициации кипения ткани внутри каждого импульса зависит от типа ткани и длительности используемых импульсов. Пороговая механическая до-

за ниже при использовании коротких импульсов (1–2 мс), при этом длинные импульсы (5–10 мс) лучше разрушают структуру тканей с высоким содержанием упорядоченных коллагеновых структур.

5. При механическом разрушении тканей в непосредственной близости к газосодержащим органам, область их опасного расположения вблизи фокуса ультразвукового излучателя отличается от контуров типичных разрушений, получаемых вдали от воздушной границы, но может быть предсказана по структуре создаваемого ультразвукового поля и нанесена на УЗИ-изображение при планировании безопасного для окружающих органов облучения целевого участка методом гистотрипсии с кипением.

На заседании 19 октября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Пономарчук Екатерине Максимовне учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **15** человек, из них **4** доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из **22** человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» — **15**, «против» — **нет**, недействительных бюллетеней — **нет**.

Председатель
диссертационного совета МГУ.013.6
доктор физико-математических наук,
профессор

Салецкий Александр Михайлович

Учёный секретарь
диссертационного совета МГУ.013.6
доктор физико-математических наук,
доцент

Косарева Ольга Григорьевна

Дата оформления заключения: 19 октября 2023 года.