

АКУСТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ И КАВИТАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ЖИДКОСТЯХ

Фазилова М.О

студентка 120 группы лечебного факультета

Научный руководитель: к.ф-м.н., профессор

Содиқов Н.О.

Самаркандский Государственный Медицинский Университет

Аннотация: Акустическое течение и кавитация ультразвуковых волн в жидкостях представляют собой важные явления в области физики жидкостей и акустики, которые оказывают значительное влияние на разные инженерные и научные приложения. Акустическое течение появляется в результате взаимодействия ультразвуковых волн с жидкостями, создавая локальные(местные) потоки и вихри в микроскопическом масштабе. Это явление имеет огромное применение в таких областях, как УЗИ, акустическая кавитация и очистка поверхностей. Кавитация, в свою очередь, связана с образованием и разрушением пузырьков в жидкости, что происходит при высоких ультразвуковых амплитудах и может сопровождаться выделением энергии и локальными температурными пиками. Этот процесс имеет важное значение для разработки новых методов обработки материалов, а также в таких технологиях, как [ультразвуковая эмульсификация](#), разрушение клеток в биологических исследованиях и чистка поверхностей. В работе рассматриваются механизмы акустического течения и кавитации, их влияние на свойства жидкостей и эффективность технологических процессов.

Ключевые слова: Акустическое течение, кавитация, ультразвуковые волны, ультразвуковая кавитация, пузырьки кавитации, акустическая волна, механизмы кавитации, ультразвуковая диагностика, ультразвуковая эмульсификация.

Актуальность: По физической сущности УЗ не отличается от звука и представляет собой механическую волну. Ультразвуковые волны – это механические колебания, с частотой выше 20 кГц. Ультразвуковые колебания перемещаются в форме волны, подобно распространению света. Однако в отличие от световых волн, которые могут распространяться в вакууме, ультразвук требует упругую среду такую как газ, жидкость или твердое тело. Основными параметрами волны являются длина волны и период. Дисперсия звука — зависимость фазовой скорости однотонных звуковых волн от их частоты. Изменение скорости звука может быть обусловлено как физическими характеристиками среды, так и наличием в ней посторонних элементов и присутствием границ тела, в котором звуковая волна распространяется.

Разновидности ультразвуковых волн: Большинство методов ультразвукового исследования используют либо продольные, либо поперечные волны. Также существуют и другие формы распространения ультразвука, включая поверхностные волны и волны Лэмба. Продольные ультразвуковые волны – волны, направление распространения которых совпадает с направлением смещений и скоростей частиц среды. Поперечные ультразвуковые волны – волны, распространяющиеся в направлении, перпендикулярном плоскости, в которой лежат направления смещений и скоростей частиц вещества, то же самое, что и сдвиговые волны. Акустическое течение (акустический или звуковой ветер) — регулярное движение среды в звуковом поле большой интенсивности. Оно возникает как в свободном неоднородном звуковом поле, так и (особенно) вблизи различных видов препятствий. Оно используется для изучения механики жидкостей в организмах, например, в крови или межклеточной жидкости. Оно также может быть полезным в

медицинской диагностике и терапии, например, в ультразвуковой терапии, где акустические волны используются для воздействия на ткани с целью их нагрева или стимуляции клеточных процессов. Кроме того, акустическое течение может быть связано с эффектами в клеточной мембране, где ультразвуковые волны способны изменять проницаемость мембран для различных ионов или молекул, что открывает новые возможности для доставки лекарств и проведения медицинских процедур.

Кавитация — это образование в жидкости пузырьков пара и их мгновенное схлопывание. Этот процесс происходит в отдельных точках насоса, где давление падает ниже давления парообразования перекачиваемой жидкости. Давление парообразования вещества — это давление, при котором жидкость начинает кипеть или испаряться.

Гидродинамическая кавитация. Поскольку в реальной жидкости всегда присутствуют микроскопические пузырьки газа или пара, то, двигаясь с потоком и попадая в область давления $p < p_{кр}$, они теряют стабильность и начинают развиваться бесконтрольно (см. рис. 1). После перехода в зону более высокого давления и исчерпания кинетической энергии расширяющейся жидкости, рост пузырька прекращается, и он начинает уменьшаться. Если пузырёк содержит достаточно много газа, он восстанавливается после достижения минимального радиуса и совершает несколько циклов затухающих колебаний. Если газа мало, пузырёк полностью схлопывается уже в первый период своего существования. Таким образом, вблизи обтекаемого объекта (например, в трубе с местным сужением, см. рис. 2) образуется хорошо ограниченная "кавитационная зона", наполненная движущимися пузырьками. Сжатие кавитационного пузырька происходит с высокой скоростью и сопровождается звуковым импульсом (своего рода гидравлическим ударом), который тем более интенсивен, чем меньше газа в пузырьке. Если степень развития кавитации такова, что в случайные моменты времени появляется и исчезает множество пузырьков, явление сопровождается сильным шумом с непрерывным спектром частот от нескольких сотен Гц до сотен и

тысяч кГц. Если кавитационная каверна замкнута рядом с обтекаемым объектом, многократно повторяющиеся удары могут привести к разрушению (так называемой кавитационной эрозии) поверхности этого объекта (например, лопастей гидротурбин, винтов кораблей и других гидротехнических устройств. Если бы жидкость была идеально однородной, а поверхность твёрдого объекта, с которым она контактирует, идеально смачиваемой, разрыв произошёл бы при гораздо более низком давлении, чем давление насыщенного пара жидкости. Прочность на разрыв воды, рассчитанная с учётом тепловых флуктуаций, составляет 150 МН/м^2 (1500 кг/см^2). Реальные жидкости менее прочны. Максимальное растяжение очищенной воды, достигнутое при растяжении воды при 10°C , составляет 28 МН/м^2 (280 кг/см^2). Обычно же разрыв происходит при давлениях, которые лишь немного меньше давления насыщенного пара. Низкая прочность реальных жидкостей объясняется наличием так называемых кавитационных зародышей: плохо смачиваемых участков твёрдого тела, твёрдых частиц с трещинами, заполненными газом, микроскопических газовых пузырьков, которые защищены от растворения мономолекулярными органическими оболочками, а также ионных образований, возникающих под воздействием космических лучей.

Медицинское и биологическое значение ультразвука: На сегодняшний день ультразвуковая факоэмульсификация с установкой интраокулярной линзы признана во всем мире наиболее эффективным и безопасным методом восстановления зрения при катаракте. Также ультразвуковая диагностика является одной из самых популярных и безопасных методик визуализации внутренних органов и тканей. С помощью УЗИ специалисты могут оценить состояние органов (например, сердца, печени, почек), выявить опухоли, кисты, а также следить за течением беременности. Ультразвуковые волны проникают в ткани и отражаются от различных структур, формируя изображение, которое выводится на экран. Эта технология не использует ионизирующее излучение, что делает её безопасной для пациента. Ранее упоминалась кавитация, этот процесс также используется в медицине, например, для

разрушения камней в почках (ультразвуковая литотрипсия) или при лечении ожирения и целлюлита. Кавитация позволяет эффективно воздействовать на ткани, не повреждая окружающие здоровые структуры, обеспечивая точечное разрушение нежелательных образований. В биомедицинских исследованиях ультразвук используется для изучения физиологических процессов в живых организмах. Ультразвуковые методы применяются для наблюдения за движением крови, оценки работы сердца и сосудов, а также для мониторинга клеточных процессов в реальном времени. В зависимости от интенсивности и длительности воздействия УЗ-волн, они могут оказывать как положительное (улучшение обмена веществ и снабжения тканей лимфой и кровью при УЗНЧ), так и отрицательное влияние (нарушение метаболизма и разрушение клеток при УЗВЧ). Таким образом, ультразвук играет ключевую роль в медицине и биологии, предоставляя возможности для неинвазивных исследований, точной терапии и глубокого анализа биологических процессов.

Список литературы

1. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. Учебник. Москва «ГЭОТАР- Медиа» 2018 г
2. Федорова В.Н., Фаустов Е.В. Медицинская и биологическая физика. Учебное пособие. Москва «ГЭОТАР- Медиа» 2010 г
3. Бергман Л., Ультразвук, пер. с нем., М., 1956;
4. Физика и техника мощного ультразвука, под ред. Л. Д. Розенберга, т. 1—3, 1967—69;
5. Михайлов И. Г., Соловьев В. А., Сырников Ю. П., Основы молекулярной акустики, М., 1964;
6. Викторов И. А., Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике, М., 1966;
7. Методы неразрушающих испытаний, под ред. Р. Шарпа, пер. с англ., М., 1972;
8. Ультразвуковое резание, М., 1962;

9. Ультразвуковая технология, под ред. Б. А. Аграната, М., 1974;
10. Эльпинер И. Е. Биофизика ультразвука, М., 1973;
11. Байер В., Дернер Э., Ультразвук в биологии и медицине, пер. с нем., Л., 1958;
12. Содиков Н.О., Муминова З.А. Применение ультразвука в медицине. (The Use of Ultrasound in Medicine) Journal of Theory, Mathematics and Physics №2022/05/01