

О ВОЗНИКНОВЕНИИ ПРОЦЕССОВ ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ, ВЫЗВАННЫХ МИКРОПОТОКАМИ, ОБРАЗУЮЩИМИСЯ В ПОЛЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН

И. М. Файкин, И. Е. Эльниер

Процессы эмульгирования, т. е. процессы раздробления одной из несмешивающихся жидкостей в другой обычно осуществляются под действием ультразвуковых волн большой интенсивности. Считается установленным, что механизм ультразвукового эмульгирования тесно связан с кавитацией [1, 2]. Однако, как будет показано, эмульгирование может иметь место не только в результате захлопывания кавитационных пузырьков, но и вследствие возникновения микропотоков в обеих соприкасающихся несмешивающихся жидкостях.

Возбуждение вихревых движений (микропотоков) наблюдалось при погружении кончика ультразвукового излучателя в жидкость [3]. Микропотоки возникали в маленьком сферическом слое у кончика вибратора. Форма и скорость микропотоков (циркуляционных течений) в основном зависят от амплитуды колебаний кончика ультразвукового излучателя.

Здесь также играют роль частота ультразвука, вязкость среды, диаметр кончика вибратора и закругленность его краев [3].

В нашей работе в качестве источника ультразвуковых колебаний служил ферритовый* (или никелевый) магнестрикционный преобразователь, собственная частота которого составляла 35 кГц. К излучателю была припаяна металлическая игла из нержавеющей стали;

диаметр острия иглы равнялся 100 мк. Излучатель устанавливался на микроманипуляторе, что давало возможность с большой точностью (с контролем под микроскопом) подвести острие иглы к объекту озвучивания.

Исследуемые жидкости (трансформаторное масло и вода) наносились на предметное стекло в виде двух капель, соприкасающихся между собой. В одних случаях острие иглы вводилось в масло, в других — в водную фазу. Микропотоки наблюдались под микроскопом; они возникали при включении генератора и быстро исчезали при его выключении. Появление циркуляционных потоков наблюдалось в микроскопическом объеме у острия иглы.

Как правило, микропотоки возникали одновременно в обеих соприкасающихся жидкостях. Однако возникавшие по обеим сторонам границы раздела микропотоки отличались между собой по направлению циркуляционных течений. В жидкости, в которую погружалось острие иглы, циркуляционные течения были направлены в сторону иглы: справа от иглы — против часовой стрелки, слева — по часовой стрелке. Что касается возникавших одновременно циркуляционных течений в соседней жидкости, то их движения были направлены от границы раздела; справа они протекали по часовой стрелке, слева, наоборот, — против часовой стрелки (фиг. 1, а; среда I — масло, среда II — вода).

Скорость микропотоков заметно увеличивалась по мере приближения острия иглы к границе раздела. Уменьшалось также и расстояние циркуляционных течений от названной границы, которая в свою очередь подвергалась деформации (фиг. 1, б). При непосредственном приближении острия иглы к границе раздела почти мгновенно строго локально (вблизи

* Ферритовый излучатель был любезно предоставлен нам И. П. Голяминой.

кончика иглы) происходил «разрыв» этой границы. В образовавшийся разрыв к острию иглы устремлялись с противоположной стороны границы раздела микропотоки, которые сливались и накладывались на существовавшие здесь циркуляционные течения (фиг. 1, в). Последнее завершалось быстро наступавшим процессом эмульгирования. Процесс эмульгирования выявлялся вначале у краев острия вибрирующей иглы независимо от того, находилась ли игла в масле или в воде. Этот процесс наблюдался при амплитуде колебаний вибрирующего острия в 1 мк. При таких условиях озвучивания в исследуемых жидкостях не наблюдалось образования пузырьков газа. Кроме того, использованные нами жидкости (масло и вода) предварительно обезгаживались длительным кипячением, что значительно затрудняет кавитацию. Кавитация не обнаруживалась при использовании миниатюрного гидрофона.

Образование эмульсии отмечалось даже в тех случаях, когда вязкость водной фазы увеличивалась в несколько раз путем прибавления сахарозы. При большой вязкости водной фазы (6 сП) скорость течения микропотоков уменьшалась и эмульгирование наступало лишь тогда, когда вибрирующей иглой «повреждалась» граница раздела между маслом и водой.

Об обусловленности процессов эмульгирования возникновением микропотоков (но не кавитацией) свидетельствует то, что при погружении вибрирующей иглы в каплю раствора йодистого калия не происходило окисления ионов йода. Такому способу озвучивания подвергался 5%-й раствор йодистого калия в присутствии крахмала. Индикатором появления микропотоков служили алюминиевые опилки. Несмотря на значительную скорость движения частиц (согласно нашим измерениям методом прерывистости частиц она превышала 50 см/сек), химические процессы (окисление ионов йода) не возникали. Обычно они возникают только при наличии кавитационных явлений в озвучиваемой водной среде [4].

Обнаруженный нами факт возникновения процессов эмульгирования представляет интерес с точки зрения понимания механизма действия ультразвуковых волн на микроскопические и субмикроскопические структуры животных и растительных клеток, в которых (при обычных условиях озвучивания) явления кавитации, по-видимому, не возникают.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. W. Wood, A. L. Loomis. The physical and biological effects of high frequency sound waves of great intensity. *Phil. Mag.*, 1927, 7, 4, 22, 417—436.
2. С. А. Недужий. Исследование процесса образования эмульсии, вызываемого действием ультразвука (канд. диссертация), 1963.
3. W. L. Nyborg, H. J. Dyer. Ultrasonically induced motions in single plant cells. 2nd Internat. Conf. on medical electronics, Paris, France, 1959.
4. И. Е. Эльпigner. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие. М., Физматиздат, 1963.

Институт биофизики АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
20 октября 1964 г.