

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

В. В. Скобелцын, С. К. Цветаев

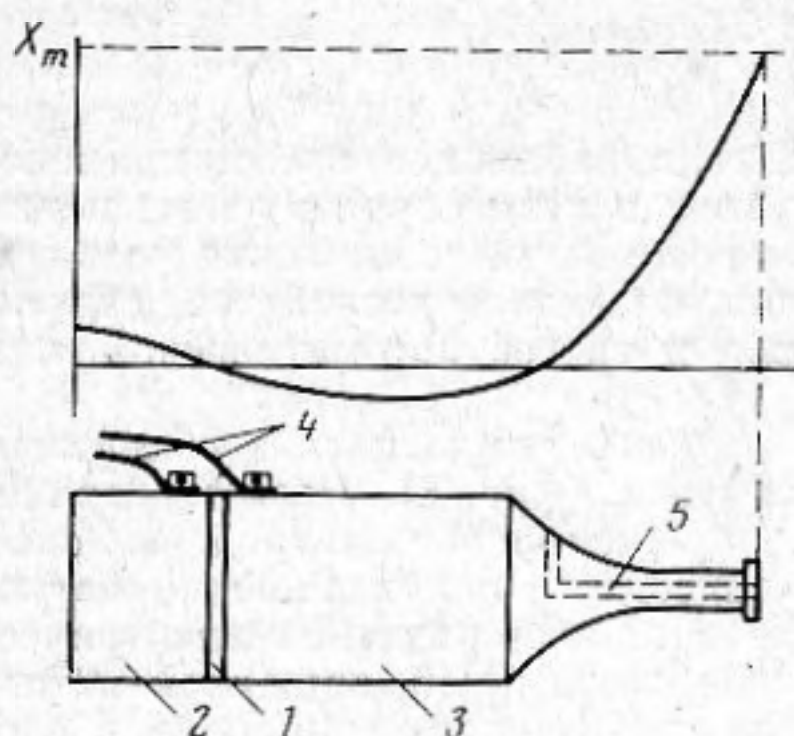
Ультразвуковое распыливание жидкости находит в настоящее время применение в промышленности и в медицине [1—3]; при этом в ряде случаев уменьшение размеров частиц аэрозоля достигается увеличением рабочей частоты. Ниже рассматриваются возникающие при этом особенности распыливающего устройства, связанные с усталостной прочностью деталей распылителя и способ автоматической подстройки генератора.

В разработанном нами устройстве для ультразвукового распыления необходимая амплитуда колебаний достигается на торце распылителя (фиг. 1). Пьезоэлектрический диск расположен в максимуме механических напряжений резонансной волновой колебательной системы, состоящей из металлических полуволновых звукопровода и экспоненциально-ступенчатого концентратора. Механический и электрический контакт металлических частей звукопровода с пьезокерамикой, лишенной металлизации, обеспечивается электропроводящим клеевым соединением; жидкость к распыливающему торцу подводится по каналу внутри концентратора. Для крепления распылителя используется резиновая опора в виде кольца, которое плотно облегает распылитель в месте расположения пьезокерамического диска.

Резонансная частота распылителя равна 70 кГц. Концентратор имеет максимальный устойчивый коэффициент концентрации около 20, амплитуда колебаний торца концентратора, при которой осуществляется распыление, составляет $X_m = 3-6$ мкм. При этих условиях механические напряжения в склейке составляют около 40 кг/см², а относительные деформации в сужающейся части концентратора имеют величину около $5 \cdot 10^{-4}$. Для надежной работы конструкция должна выдерживать более 10^{12} циклов таких напряжений и деформаций. Это достигается применением склейки со статической прочностью более 300 кг/см² и изготовлением концентратора с высокой степенью чистоты механической обработки, иначе в склейке или в сужающейся части концентратора могут возникать трещины, и характеристики распылителя необратимо ухудшаются. Следует отметить, что применение электродов из проводящего клея, позволяя увеличить прочность, приводит к незначительному снижению электрических свойств этого контакта — емкость пьезокерамического диска по сравнению с вжигаемыми электродами уменьшается менее чем на 20%. Пьезокерамический диск из материала ЦТС-23 или ЦТБС-3 имеет толщину 1—2 мм и диаметр 20 мм. Металлические части распылителя изготавливаются либо из алюминиевого сплава Д16Т, либо из титанового ВТ1-0, причем для распылителей, работающих в широком интервале температур, используются только титановые сплавы, так как их температурный коэффициент расширения наиболее близок к таковому для пьезокерамики, и температурные изменения не приводят к растрескиванию пьезокерамики. Некоторое расширение распыливающего торца позволяет несколько увеличить максимально достижимые расходы жидкости.

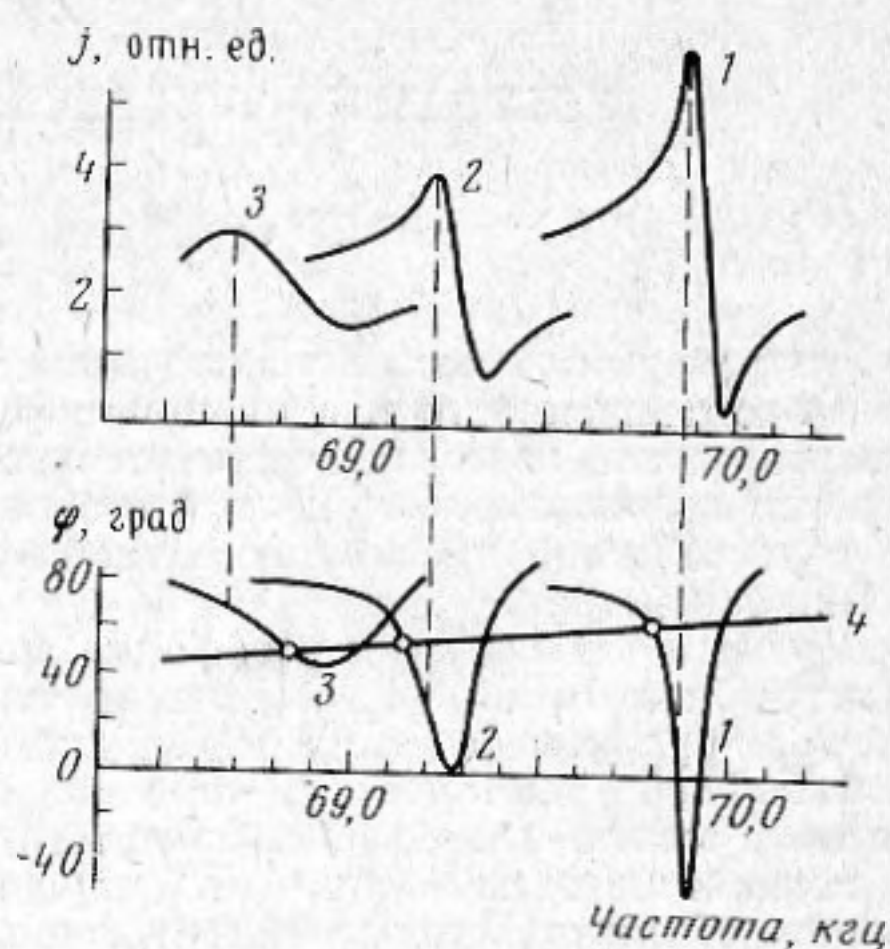
По своим электрическим характеристикам распылитель представляет собой колебательную систему, резонансная частота которой изменяется в зависимости от температуры или нагрузки (расхода жидкости) в пределах 2%, а величина механической добротности изменяется в диапазоне от 1000 до 10. Кроме того, такая колебательная система имеет побочные резонансы, близкие к резонансу, на котором производится распыление — волновой и полуволновой резонансы системы без суженной части звукопровода. Частоты этих резонансов составляют 96 и 47 кГц. Поэтому для получения устойчивого распыления был использован электронный генератор с автоматической подстройкой частоты, учитывающей изменения температуры или нагрузки и не допускающей перехода на частоты побочных резонансов. Генератор был построен по схеме, содержащей избирательный усилитель — ограничитель, нагруженный на распылитель, и положительную обратную связь по току распылителя. Полоса пропускания избирательного усилителя составляла 67—73 кГц, что было достигнуто применением в электронной схеме двойных Т-образных мостов.

На фиг. 2 приведена зависимость от частоты величины тока i распылителя и величины фазового сдвига φ этого тока относительно фазы питающего напряжения. Из этих зависимостей видно, что при увеличении расхода жидкости резонансная частота и добротность распылителя уменьшаются. Генератор при этом работает на частоте, задаваемой левой точкой пересечения фазовой характеристики распылителя с фазовой характеристикой усилителя, так как в этой точке наряду с балансом фаз обеспечивается баланс амплитуд. Как видно из фиг. 2, по мере увеличения нагрузки эта частота переходит из области ниже резонансной частоты в область между резонансной и антирезонансной частотой. Если нагрузка увеличивается настолько, что фазовые характеристики усилителя и распылителя не пересекаются, то генерация отсутствует и распыление прекращается. Поэтому на практике фазовая характеристика усилителя выбирается таким образом, чтобы при максимально возможных расходах жидкости



Фиг. 1

Фиг. 1. Распределение амплитуды колебаний и конструкция распылителя: 1 — пьезокерамический диск, 2, 3 — металлические части волновода с концентратором, 4 — токоотводы, 5 — канал для жидкости



Фиг. 2

Фиг. 2. Амплитудные и фазовые характеристики распылителя: 1 — распылитель без нагрузки, 2, 3 — расход жидкости увеличивается, 4 — фазовая характеристика усилителя с обратным знаком

она пересекалась с фазовой характеристикой распылителя. Следует заметить, что оптимальная фазовая характеристика усилителя должна проходить через соответствующие резонансным частотам точки фазовых характеристик распылителя при разных нагрузках, так как максимальная амплитуда колебаний достигается именно на этих частотах.

Как известно, средний диаметр капель аэрозоля зависит от поверхностного натяжения, вязкости и плотности жидкости, от производительности и от амплитуды колебаний X_m [3]. Для воды при расходе 3 л/час и потребляемой генератором мощности 10 вт средний диаметр капель составляет 40 мкм. Такой же размер капель сохраняется при расходах порядка $5 \cdot 10^{-2}$ л/час. При указанном значении потребляемой мощности максимальный расход составляет 6 л/час. Тепловая энергия, выделяющаяся в пьезоэлементе, вызывает лишь незначительный (около 10°C) нагрев распылителя, поэтому не требуется принудительного его охлаждения. В заключение отметим, что описанный распылитель устойчиво проработал без изменения характеристик в течение нескольких тысяч часов.

Авторы выражают благодарность О. К. Экнадиосянцу, советы которого помогли выполнению данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. К. Экнадиосянц. Получение аэрозолей. В кн. Физические основы ультразвуковой технологии, М., «Наука», 1970, 341—353, 366—374.
2. М. N. Торг, Р. Eisenklam. Industrial and medical uses of ultrasonic atomizers. Ultrasonics, 1972, 10, 3, 127—133.
3. Исследование ультразвукового распыливания. Л., ОНТИ, Центральный научно-исслед. и проектно-конструкт. котлотурбинный ин-т им. И. И. Ползунова, 1974.

Поступила
11 ноября 1976 г.