

**МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ АЭРОЗОЛЯ В
МЕДИЦИНСКИХ ИНГАЛЯТОРАХ**

**Мовчанюк А. В., к.т.н, доц.; Луговской А. Ф., д.т.н., проф.,
Федоренко И. В.**

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», Киев, Украина*

Одним из методов лечения заболеваний дыхательных путей является ингаляция — метод введения лекарственных препаратов, основанный на вдыхании газа, пара, дыма или аэрозоля. При ингаляции обеспечивается доставка лекарственных препаратов к мелким альвеолам и бронхиолам легких, что позволяет эффективно снимать приступы бронхиальной астмы. Для ингаляции используются специальные устройства — ингаляторы, представляющие собой диспергаторы, генерирующие аэрозоль. При этом, чем мельче капельки аэрозоля, тем дольше они остаются во взвешенном состоянии и тем глубже они проникают в дыхательные пути. На практике в ингаляционной терапии применяют аэрозоль с дисперсностью частиц от 0,3 мкм до 10 мкм. Так, на стенках альвеолярных ходов оседают капельки размером 0,5...2 мкм, а в бронхиолах — размером 1...3 мкм. Капельки размером более 2...5 мкм не проходят далее трахей и бронх. На гортани пациента оседают капельки до 8 мкм, а капельки более 8 мкм оседают в ротовой полости. Очевидно, что возможность управления дисперсностью аэрозоля в ингаляторах позволит существенно повысить эффективность пульмонологического медицинского оборудования.

Существует много различных способов получения мелкодисперсного аэрозоля. Одним из наиболее эффективных способов является ультразвуковое распыление [1]. При этом дисперсность капель аэрозоля определяется зависимостью [2]:

$$d = a \cdot \sqrt[3]{\frac{8 \cdot \pi \cdot \sigma}{\rho \cdot f^2}},$$

где a — коэффициент пропорциональности; σ — коэффициент поверхностного натяжения распыляемой жидкости; ρ — плотность жидкости; f — частота ультразвуковых колебаний.

Как видим, дисперсностью аэрозоля можно управлять, изменяя частоту ультразвуковых колебаний. Так, при распылении C_2H_5OH при изменении дисперсности от 1 до 10 мкм, частота ультразвука должна изменяться в пределах от 144 кГц до 4,55 МГц. При распылении водных растворов изменение частоты должно составить от 220 кГц до 6,95 МГц. Такому диапазону рабочих частот соответствует метод ультразвукового распыления в фонтане [3]. Для реализации ультразвукового распыления в фонтане обычно используют различные акустические фокусирующие системы в виде полусферических пьезокерамических элементов или акустических линз с

плоскими пьезокерамическими элементами, возбуждаемыми на основной резонансной частоте порядка 2,4 МГц. В [4] показано, что резонансная частота пьезокерамического диска практически не отличается от собственной частоты керамического диска. Поэтому для расчетов в первом приближении можно пользоваться расчетными соотношениями для изотропного диска [5]. Рассмотрим собственные частоты колебаний диска радиуса r и толщиной $2h$. В случае колебаний по толщине собственные частоты могут быть определены с помощью зависимости

$$f = \frac{n}{4 \cdot h} \sqrt{\frac{E}{\rho_K}},$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$, E — модуль Юнга материала пьезокерамики, ρ_K — плотность материала пьезокерамики. В случае радиально-изгибных колебаний:

$$f = \frac{\pi \cdot h}{r^2} \cdot B_{nm}^2 \sqrt{\frac{E}{3 \cdot \rho_K \cdot (1 - \sigma^2)}},$$

где B_{nm} — постоянная, зависящая от номера n и моды m колебаний, σ — коэффициент Пуассона.

Расчеты проводились для пьезокерамического диска из ЦТС-19 диаметром 20 мм и толщиной 1 мм. В интересующий диапазон частот попадают три первых гармоники колебаний по толщине (2,4 МГц, 4,8 МГц и 7,2 МГц) и высшие гармоники радиально-изгибных колебаний с девятой по двадцать третью (1,2 МГц, 1,5 МГц, 1,8 МГц, 2,1 МГц, 2,5 МГц, 2,9 МГц, 3,4 МГц, 3,8 МГц, 4,3 МГц, 4,9 МГц, 5,4 МГц, 6,0 МГц, 6,6 МГц, 7,3 МГц, 8,0 МГц). Отметим, что потенциально амплитуда колебаний при колебаниях по толщине будет выше амплитуды радиально-изгибных колебаний при том же подведенном напряжении. Как видим из расчетов, пьезокерамический диск имеет большое число резонансов в интересующей нас частотной области и потенциально может обеспечить необходимую регулировку дисперсности.

В связи с тем, что при работе на разных резонансных частотах пьезокерамический диск будет совершать колебания с разной амплитудой при одном и том же подведенном напряжении, было проведено экспериментальное исследование. На поверхность пьезокерамического диска наносился тонкий слой C_2H_5OH . Диск подключался к генератору ГЗ-112/1 и в отраженном свете велись визуальные наблюдения за поверхностью диска при изменении частоты генератора. Визуальные наблюдения позволяли косвенно судить об амплитуде и форме колебаний диска.

Исследование диска с симметрично нанесенными электродами показало наличие трех резонансов — 2,4 МГц, 5,4 МГц, 7,3 МГц. Эти данные хорошо согласуются с полученными результатами расчетов. При этом отчетливо наблюдались колебания по толщине. С ростом номера гармоники амплитуда колебаний снижалась, однако распыление наблюдалось на всех

трех указанных частотах возбуждения. Достаточной для процесса распыления амплитуды колебаний на частотах радиально–изгибных колебаний не наблюдалось. Вторая серия экспериментов проводилась с пьезокерамическим диском тех же размеров, но с несимметрично нанесенными электродами (один электрод имел диаметр 10мм). Измерения проводились в более широком диапазоне частот. Было получено, что пьезоэлемент имел достаточную для распыления амплитуду колебаний на частотах: 308 кГц, 480 кГц, 657 кГц, 982 кГц, 1,35 МГц, 2,7 МГц, 2,96 МГц, 3,26 МГц, 4,86 МГц и 8,03 МГц.

Проведенные исследования подтвердили возможность управления дисперсностью аэрозоля за счет изменения рабочей частоты пьезопреобразователя. При этом предпочтение следует отдавать преобразователям, работающим на радиально–изгибных колебаниях, так как в этом случае достигается регулировка дисперсности в более широких пределах.

Литература

1. Пажи Д. Г. Основы техники распыления жидкостей / Д. Г. Пажи, В. С. Галустов — М. : Химия, 1984. — 252с.
2. Экнадиосянц О. К. Получение аэрозолей. Физические основы ультразвуковой технологии / О. К. Экнадиосянц — М. : Издательство «Наука», 1970. — 395 с.
3. Каневский И. Н. Фокусирование звуковых и ультразвуковых волн / И. Н. Каневский — М. : Издательство «Наука», 1977 — 335 с.
4. Шляхин Д. А. Вынужденные осесимметричные изгибные колебания толстой круглой жестко закрепленной пластины / Д. А. Шляхин // «Вестник СамГУ». Естественнонаучная серия. — 2012. — № 6(97). — С. 124—135.
5. Лепендин Л. Ф. Акустика; учеб. пособие для втузов. / Л. Ф. Лепендин — М. : Высш. школа, 1978. — 448 с., ил.

Анотація

Розглянуто можливість одного з методів зміни дисперсності аерозолі при ультразвуковому розпиленні. Теоретично та експериментально підтверджена можливість зміни дисперсності аерозолі шляхом зміни робочої частоти ультразвукового перетворювача.

Ключові слова: ультразвук, розпилення, аерозоль.

Аннотация

Рассмотрены возможности одного из методов изменения дисперсности аэрозоля при ультразвуковом распылении. Теоретически и экспериментально подтверждена возможность изменения дисперсности аэрозоля изменением рабочей частоты ультразвукового преобразователя.

Ключевые слова: ультразвук, распыление, аэрозоль.

Abstract

The possibilities of one of the aerosol dispersion changing methods with ultrasonic atomization are considered. The possibility of aerosol dispersion change by operating frequency variation of ultrasonic transducer is theoretically and experimentally confirmed.

Keywords: ultrasonic, atomizing, spray.