

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ РЕЗОНАТОРА НА АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧЕГО ПОТОКА В БИКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

А.В. Примаков¹, А.А. Жилин^{1,2}

¹*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
630090, Новосибирск, Россия*

²*ФГБОУ ВО "Сибирский государственный университет водного транспорта",
630099, Новосибирск, Россия*

Идея применения высокоинтенсивного звука в процессах сушки пористых материалов привела к разработке акусто-конвективных сушильных установок (АКСУ) в ИТПМ СО РАН. Данное устройство в своей работе использует газоструйный излучатель Гартманновского типа, к которому в последнее время проявляется повышенный интерес в различных прикладных областях. Исследование физических процессов, протекающих в биканальном тракте АКСУ под воздействием генератора звука имеет высокий приоритет в развитии технологии акустической сушки, а также влечёт за собой ряд фундаментальных открытий, связанных со свойствами глубоких резонаторов.

Применение АКСУ для сушки пористых материалов позволяет избежать теплового нагрева осушаемого материала, что является значительным преимуществом для большинства биологических [1], химических [2, 3], фармацевтических и пищевых материалов [4, 5]. Так же важным преимуществом такой технологии сушки является её большая интенсивность в сравнении с термоконвективным методом [6]. При этом структура исходного вещества не разрушается, сохраняются его полезные свойства в готовом продукте. Относительно низкие энергозатраты и простота конструкции делает АКСУ привлекательным в экономическом плане [7].

Принципиальная схема АКСУ представлена на рис. 1. Основными элементами установки являются дозвуковое сужающее коническое сопло (1) и соосно установленная резонирующая полость цилиндрической формы (2). Вместе элементы (1) и (2) представляют собой единый конструктивный элемент системы. Сопло и резонатор размещаются внутри второго канала имеющего квадратное сечение (3). Получившаяся конструкция образует биканальную систему. С помощью подвижного поршня (4) изменяется глубина резонирующей полости и максимальное значение глубины составляет 31.5 калибров резонатора. Принцип работы АКСУ заключается в периодической смене двух процессов: 1) затекание недорасширенной струи из сопла в резонирующую полость, 2) истечение из резонатора отраженной от поршня струи [8]. При взаимодействии струй, истекающей из сопла и из резонирующей полости, порождается область уплотнения, которая является источником звуковых колебаний [9]. Сформировавшийся акусто-конвективный поток поступает в рабочую часть (3) и регистрируется с помощью высокочувствительного пьезодатчика ЛХ-610.

В результате проведённых ранее экспериментов [10] были получены амплитудно-частотные характеристики рабочего потока в тракте биканальной системы АКСУ. В данной работе рассматривается ряд геометрических конфигураций установки. При выбранном диаметре сопла 0.5 изменяемыми параметрами являются глубина резонатора и статическое давление в форкамере (до 10 атм.). Получены акустические спектры для глубоких резонаторов $l \in (23 - 31.5)$ где видны низкочастотные пики являющиеся гармониками основной расчетной частоты (рис. 2). Видно, что в спектре доминирует вторая гармоника

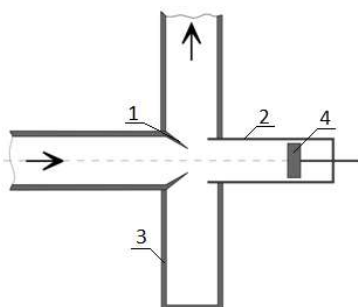


Рис.1. Принципиальная схема АКСУ.

с частотой 250 Гц, её амплитуда нарастает до значений более 1 В (130 дБ), достигая в максимуме 2 В (140 дБ), когда амплитуда первой гармоники при 125 Гц составляет лишь половину этого значения. В спектре также видны гармоничные пики с частотой 375, 500, 625, 750, 875, 1000 Гц, что соответствует, 3 – 8 гармоникам, однако их интенсивность значительно меньше. Амплитуда 5 и 7 гармоники сопоставима с фоновым шумом. Следует отметить, что при низких давлениях (до 5 атм.) в спектре преобладает первая гармоника, переход ко второй происходит при увеличении давления и сохраняется до конца режима, где происходит резкое уменьшение всех тонов.

Уменьшение глубины резонатора l приводит к смещению частоты основной гармоники в большую сторону. В частности максимальная интенсивность реализуется для второй гармоники, при $l = 31.5$ и частоте 260 Гц, а для $l = 23.5$ при 295 Гц. Также отметим, что глубина резонатора имеет влияние на интенсивность генерируемого звука: большим значениям глубины соответствует большая интенсивность. Уменьшая глубину резонирующей полости с 31.5 до 23.5 прирост интенсивности составил 30 дБ.

Акустический режим работы АКСУ реализуется при определенных значениях статического давления в форкамере от 4 до 9.2 атм., так называемая область существования эффекта Гартманна [11]. В данном эксперименте наблюдается тенденция к сужению области существования акустического излучения с увеличением глубины резонатора. В частности, для глубокой полости $l = 31.5$ выход на режим высокоинтенсивных колебаний наблюдается в диапазоне давлений от 4 до 9.2 атм., а для резонаторов с меньшей глубиной $l = 23.5$ режим наблюдаются при 4.2 – 8.6 атм.

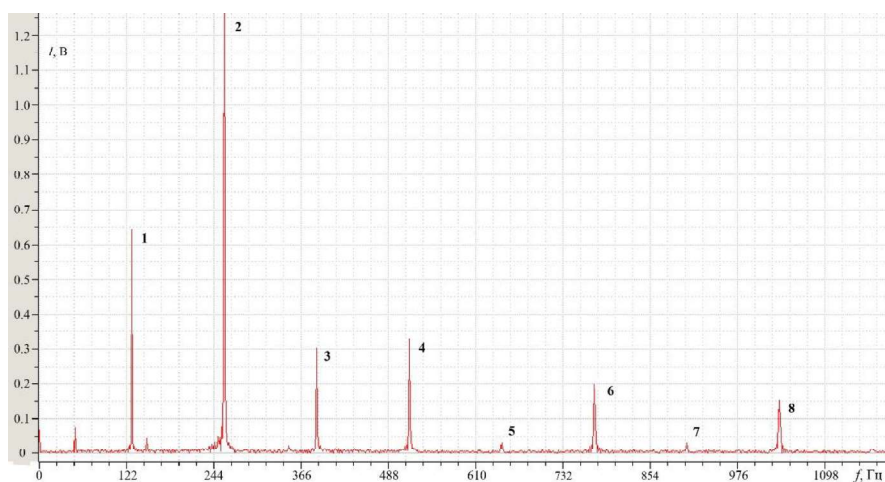


Рис. 2. Характерный спектр излучения глубоких резонаторов $l = 23 - 31.5$.

Для верификации полученных экспериментальных данных привлекалось выражение для определения собственной частоты цилиндрического резонатора Гельмгольца в виде:

$$f = c/[4(l - 0.3d_r)],$$

где c – скорость звука рабочего газа. Частоты, определённые по данной формуле хорошо соответствуют экспериментальным данным, а их изменение в зависимости от глубины резонатора приведено на рис. 3.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы (проект АААА-А17-117030610139-4).

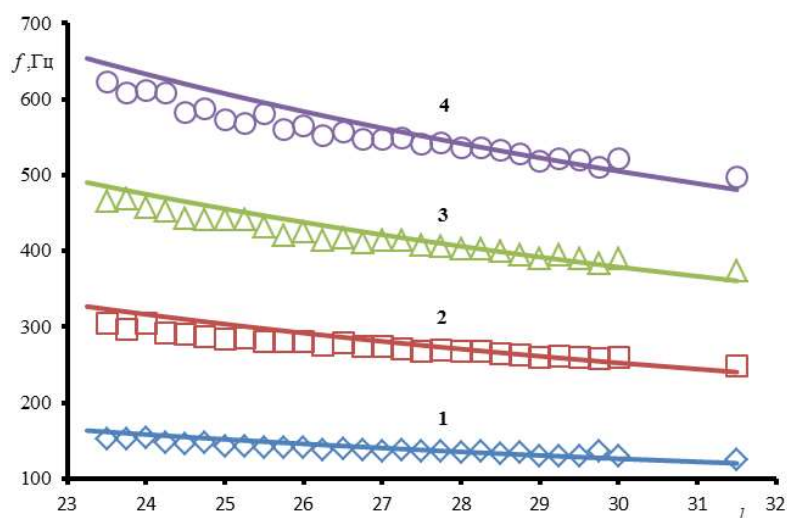


Рис.3. Сопоставления экспериментально полученных значений (точки) с расчётными (линии).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Zhilin A.A., Fedorov A.V., Grebenschikov D.M.** Study of the dynamics of acous-tic-convective drying of sun-flower cake and comparison with drying by a traditional thermo-convective method // *Foods and Raw Materials*, 2018, Vol. 6, No. 2. P. 370 – 378.
2. **Федоров А.В., Жилин А.А., Коробейников Ю.Г.** Исследование процессов пропитки и сушки зернистого силикагеля // *Инженерно-физический журнал*, 2011. Т.84. №.5. с. 897-906.
3. **Жилин А.А., Федоров А.В.** Акусто-конвективная сушка ячеистого газобетона // *Инженерно-физический журнал*, 2017. Т. 90, № 6. С. 1483 – 1498.
4. **Жилин А.А., Федоров А.В.** Исследование акустоконвективной сушки мяса // *Инженерно-физический журнал*. 2016. Т. 89. № 2. с. 316 – 325.
5. **Жилин А.А., Федоров А.В.** Акусто-конвективная сушка кедрового ореха // *Инженерно-физический журнал*, 2014. Т. 87, № 4. С. 879 – 886.
6. **Zhilin A.A.** Acoustic-convective drying of coniferous sawdust // *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2125, P. 030085.
7. **Коробейников Ю.Г., Назаров А.А., Федоров А.В.** Энергозатраты при сушке древесины акустическим способом // *Деревообрабатывающая промышленность*. 2004. № 4. с. 6 – 7.
8. **Розенберг Л.Д.** Источники мощного ультразвука. – Москва: Наука, 1967. 380 с.
9. **Куркин В.П.** К вопросу о генерации звука газоструйной сиреной // *Акустический журнал*. 1961. Т.7. № 4. с. 442-445.
10. **Zhilin A., Golubev E.** Experimental study of the amplitude-frequency characteristics in a two-channel system // *AIP Conference Proceedings*. 2018. Vol. 1939, P. 020016.
11. **Глазнев В.Н., Коробейников Ю.Г.** Эффект Гартмана область существования и частоты колебаний // *Прикладная механика и техническая физика*, 2001, Т. 42, № 4. с. 62-67.