

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В БИКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

А.А. Жилин, Е.А. Голубев

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

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

В ИТПМ СО РАН активно развивается новая технология по акусто-конвективной сушке пористых материалов. Данная технология позволяет осуществлять сушку без подвода тепла к осушаемому материалу, что является важным для ряда биологических, пищевых и химически активных сред. Еще одним преимуществом данного способа сушки является значительная интенсификация процесса экстракции влаги по сравнению с классическим термо-конвективным подходом [1 – 3]. В основе разработанной акусто-конвективной сушильной установки (АКСУ) заложен генератор высокоинтенсивного звука Гартмана.

Принципиальная схема АКСУ представлена на рис. 1. Из этой схемы видно, что установка представляется в виде двух перпендикулярных каналов. Первый канал состоит из двух разнесенных цилиндрических частей форкамеры (1) и резонатора (2). Второй канал является монолитным с квадратным сечением, внутрь которого установлен первый канал. Тракт второго канала можно условно разделить на две части: с левой стороны квадратный резонатор с регулировочным поршнем (6), а с правой стороны располагается рабочая часть (3) с открытым торцом, через который осуществляется загрузка и выгрузка осушаемого материала. В качестве рабочей среды используется сжатый газ, который поступает в форкамеру АКСУ из магистрали среднего давления, параметры входящего потока регистрируются манометрами (4). На выходе из форкамеры установлено дозвуковое коническое сопло устремляющее газ до местной скорости звука. Выходящая из сопла нерасчетная струя устремляется в соосно установленный резонатор (2) в результате чего формируется колеблющаяся бочкообразная структура, периодически заполняющая и опорожняющая резонатор. Глубина резонатора l изменяется с помощью регулировочного поршня (7) и является исследуемым параметром в данной работе. Сформировавшийся акусто-конвективный поток поступает в рабочую часть (3) и регистрируется с помощью высокочувствительного пьезодатчика ЛХ-610 (5). Результаты замеров акустического датчика через предусилитель поступают на внешний аналого-цифровой преобразователь Е-440 фирмы L-card.

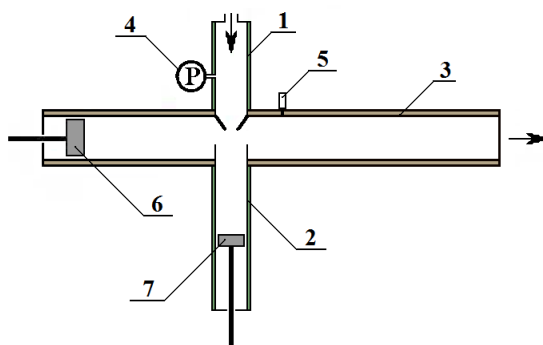


Рис. 1. Принципиальная схема АКСУ.

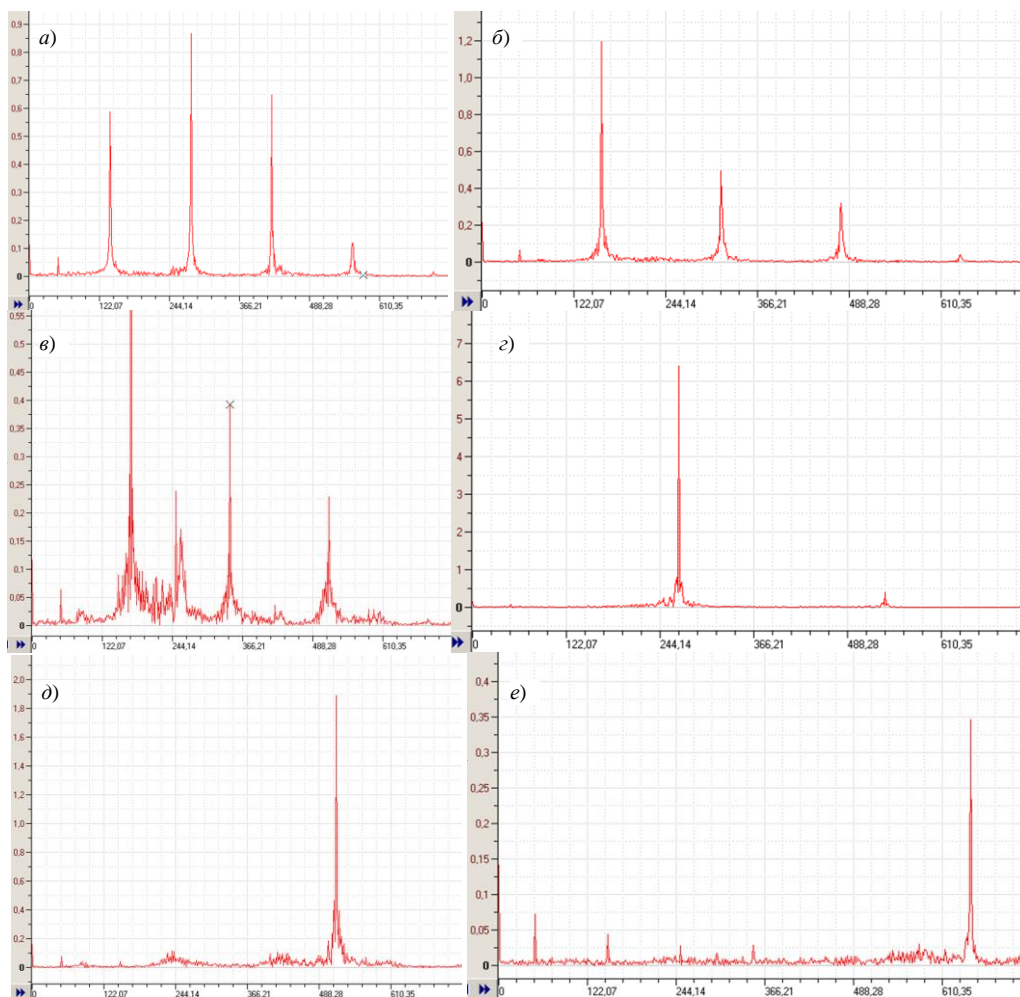


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики, полученные при глубине резонатора: а) 530 мм, б) 460 мм, в) 390 мм, г) 315 мм, д) 530 мм, е) 460 мм,

Данное исследование направлено на изучение влияния глубины цилиндрического резонатора первого канала на амплитудно-частотные характеристики сформировавшегося на входе в рабочую часть АКСУ потока. Работы по регулировке резонатора проводились при выключенной АКСУ. Изменение глубины резонатора производилось с помощью перемещения штока резонатора и его фиксации контрольным винтом, препятствующему перемещению штока во время проведения пуска и выхода на режим АКСУ.

В процессе проведения экспериментов статическое давление в форкамере поддерживалось постоянным равным семи атмосферам с помощью прецизионной системы регулирования.

На рис. 2 представлены результаты обработки снимаемого с акустического датчика ЛХ-610 сигнала. На рис. 2а представлена амплитудно-частотная характеристика, полученная при глубине резонатора $l = 530$ мм. Здесь видно наличие трех максимумов в амплитуде при частоте 140, 280 и 420 Гц, частоты соответствуют волновому числу 1, 2 и 3, соответственно. Отметим, что максимум амплитуды в 0,867 В достигается при частоте 280 Гц. С уменьшением глубины резонатора происходит перераспределение интенсивно-

стей между модами. На рис. 2б представлена амплитудно-частотная характеристика, реализуемая при глубине резонатора 460 мм, которая демонстрирует, что основная частота 159 Гц имеет максимальную интенсивность 1,196 В. Последующее уменьшение глубины резонатора приводит к возникновению между первой и второй модой зоны с неустойчивостью, она представлена на рис 2в для случая $l = 390$ мм. Последующее уменьшение глубины резонатора приводит к постепенному усилению отмеченной выше неустойчивости и при переходе от $l = 320$ мм к 315 мм происходит резкая перестройка амплитудно-частотной зависимости и максимум интенсивности скачком переходит от 190 Гц к 269 Гц причём интенсивность также изменяется с 2,262 В до 6,402 В. Дальнейшее уменьшение глубины цилиндрического резонатора приводит к плавному увеличению частоты и уменьшению интенсивности, данная картина продолжается до следующего скачкообразного перехода. Второй резкий переход происходит при уменьшении глубины резонатора от 115 мм до 110 мм частота меняется с 519 Гц до 650 Гц при этом интенсивность значительно уменьшается с 1,890 В до 0,346 В, данное изменение представлено на рис. 2д и рис. 2е. Третий скачкообразный переход реализуется при уменьшении глубины резонатора с 90 мм до 85 мм частота возрастает с 686 Гц до 814 Гц, а интенсивность с 0,180 В до 2,379 В.

Для математического описания изменения частоты колебаний в устройствах, построенных на принципе Гартмана, при изменении глубины резонатора воспользуемся классической формулой Гельмгольца для собственной частоты цилиндрического резонатора из работы [4] $f = c/[4(l - 0,3d_r)]$, где l , d_r – глубина и диаметр резонатора, c – скорость звука рабочего газа.

На рис. 3 представлена зависимость собственной частоты резонатора от его глубины. Как видно из графика результаты расчетов, определенные по расчетной формуле и полученные экспериментальные данные хорошо коррелируют. На рисунке также хорошо видны три места со скачкообразным изменением частоты отмеченные ранее.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 17-48-540805.

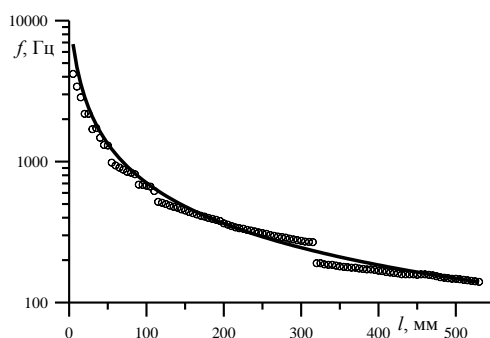


Рис. 3. Сопоставление собственных частот полученных в эксперименте (точки) с расчетными (линия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Жилин А.А., Федоров А.В.** Исследование акустоконвективной сушки мяса // Инженерно-физический журнал. – 2016. – Т. 89, № 2. – С. 316 - 325.
2. **Жилин А.А., Федоров А.В.** Акусто-конвективная сушка кедрового ореха // Инженерно-физический журнал. – 2014. – Т. 87, № 4. – С. 879 - 886.
3. **Жилин А.А., Федоров А.В., Коробейников Ю.Г.** Исследование процессов пропитки и сушки зернистого силикагеля // Инженерно-физический журнал. – 2011. – Т. 84, № 5. – С. 897 - 906.
4. **Борисов Ю.Я.** Газоструйные излучатели звука Гартмановского типа. // Источники мощного ультразвука / Под ред. проф. Л.Д. Розенберга. Серия «Физика и техника мощного ультразвука». – М.: Наука, 1967. – Часть. 1. – С. 7 – 110.