

## **Исследование возможностей ультразвуковой сушки, с использованием колебательной системы с дисковым излучателем диаметром 160 мм.**

Цель работы: измерить распределение уровня звукового давления внутри сушильной камеры и провести эксперименты по исследованию её эффективности.

Ультразвуковой метод сушки продуктов основан на воздействии на обезвоживаемый продукт интенсивных ультразвуковых волн. Данный процесс сушки носит циклический характер, волна выбивает влагу, находящуюся на поверхности продукта, затем оставшаяся влага равномерно распределяется по капиллярам и процесс повторяется снова. Это происходит до тех пор, пока влажность продукта не достигнет заданного значения. Ультразвуковой способ позволяет сушить широкий набор материалов: продукты сельского хозяйства (зерно, овощи, фрукты и другие), древесина, хлопок, лекарственные препараты и травы, бумага, продукция химической и других отраслей промышленности с сохранением не только их структуры, но и всех полезных свойств. Принципиальная особенность способа: сушка продуктов протекает без повышения температуры продуктов. Реализуется т.н. "холодная" сушка. Это обстоятельство снимает все негативные последствия, связанные с термическим воздействием на продукт. Именно поэтому это единственный способ сушки, пригодный для сушки термочувствительных, легко окисляющихся и легко воспламеняющихся материалов. Обработка продуктов ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности благоприятно сказывается на физико-химических и потребительских свойствах продукта (например, увеличивает всхожесть семян и др.).

Сушильная установка состоит из: источника ультразвуковых колебаний (пьезоэлектрическая ультразвуковая колебательная система (УЗКС) с дисковым излучателем); генератора электрических колебаний ультразвуковой частоты для питания УЗКС; сушильной камеры. Пьезоэлектрическая ультразвуковая колебательная система с дисковым излучателем и генератором электрических колебаний показана на рисунке 1.



Рисунок 1. Ультразвуковая колебательная система с дисковым излучателем и генератором электрических колебаний

Сушильная камера состоит из верхнего и нижнего отражателей, обеспечивающих равномерное распределение ультразвуковых колебаний по поверхности высушиваемого сырья. Фотография сушильной камеры показана на рисунке 2.



Рисунок 2. Сушильная камера

Перед проведением экспериментов, связанных с исследованием процесса сушки, было проведено измерение распределения уровня звукового давления для УЗКС с излучателем диаметром 160 мм, работающей на частоте 20 кГц, а также измерение максимального уровня звукового давления в ближней зоне излучения. Измерения производились в точках, расположенных вдоль оси излучения на расстоянии 100 мм от излучателя (уровень сетки для размещения продукта) с помощью анализатора шума и вибрации «АССИСТЕНТ», предназначенного для измерения средних (эквивалентных), экспоненциально усредненных и пиковых уровней ультразвука; уровней звукового давления (УЗД) в октавных и третьоктавных полосах частот в диапазонах звука, инфразвука и ультразвука. Распределения колебаний показаны на рисунке 3.

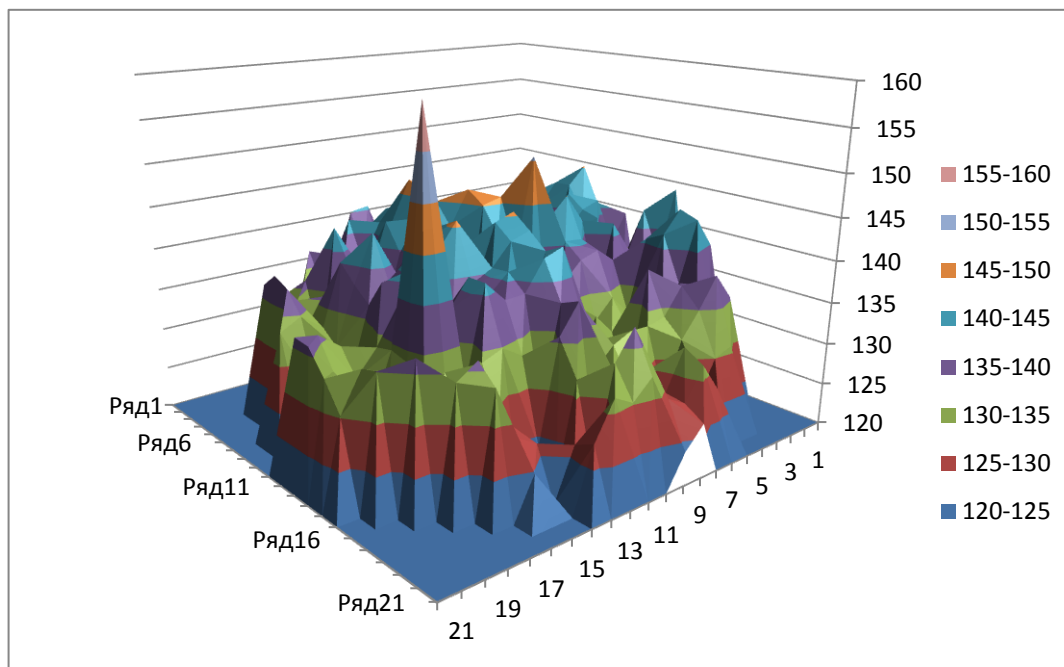


Рисунок 3. Распределение звуковых колебаний дискового излучателя на расстоянии 100 мм от излучающей поверхности

На рисунке 4 показано максимальное значение уровня звукового давления на разных частотах, измеренное с помощью анализатора шума и вибраций «АССИСТЕНТ».

Параметр	Значение, дБ	Min, дБ	Max, дБ
12.5 kHz	70,7	48,2	103,8
16 kHz	102,9	74,8	113,4
20 kHz	142,6	114,3	153,4
25 kHz	123,8	95,6	135,1
31.5 kHz	95,2	67,2	107,3
40 kHz	120,5	95,7	133,8

Рисунок 4. Максимальное звуковое давление на разных частотах

Также было построено распределение уровня звукового давления на расстоянии 100 мм от излучающей поверхности (уровень сетки для продукта) для открытого и закрытого объема сушильной камеры. Результаты распределения показаны в таблице 1 и на рисунке 5 для измерений по оси X, а также в таблице 2 и на рисунке 6 для измерений по оси Y. (Что это за оси)

Таблица 1. Распределение уровня звукового давления по оси X

Ось X №	Закрытый объём			Открытый объём				Среднее
	№	Среднее	Среднее	№	Среднее	Среднее	Среднее	
1	130,1	129,4	129,7	129,7333	129,9	127,7	127,4	128,3333
2	143,8	142,6	143,1	143,1667	126	125,1	123,6	124,9
3	146,4	142,7	144	144,3667	128	126,7	127,7	127,4667
4	144,6	139,4	141,9	141,9667	131,8	124,5	128,3	128,2
5	142,4	139,8	137,6	139,9333	135	132,2	133,1	133,4333
6	143,9	140	138,6	140,8333	122,4	127,8	128,8	126,3333
7	142,2	140,8	137,6	140,2	127,5	132,7	135,4	131,8667
8	142,4	145,3	139,8	142,5	131,8	131,2	130,9	131,3
9	150,5	146	149,3	148,6	148,4	142,8	144,6	145,2667
10	145,1	137,9	142,2	141,7333	134,9	134,7	135	134,8667
11	151,6	148,9	149,3	149,9333	135,8	129,8	130,8	132,1333
12	131,5	142,5	143	139	132,5	137,2	136,5	135,4
13	142,3	142,7	137,8	140,9333	126,3	134,1	126,2	128,8667
14	142,9	134,4	139,5	138,9333	127,1	128,2	128,1	127,8
15	143,5	140,5	140,1	141,3667	128,7	131	132,7	130,8
16	133,7	132,1	132,5	132,7667	130,1	129,7	129,8	129,8667
17	140,7	143,4	141,2	141,7667	124,6	124,6	124,9	124,7

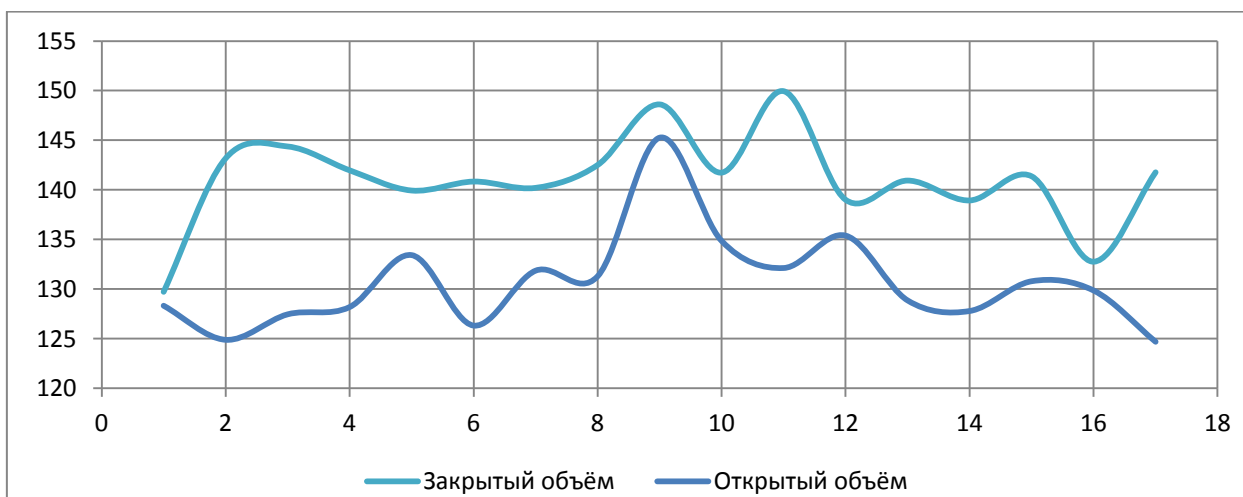


Рисунок 5. Распределение уровня звукового давления по оси X

Из рисунка 5 видно, что максимум уровня звукового давления по оси X наблюдается в закрытом объёме и достигает максимального среднего значения 149,9 дБ.

Аналогичные эксперименты по измерению распределения звукового поля были проведены и по оси Y. В таблице 2 и на рисунке 6 представлены результаты измерений.

Таблица 2. Распределение уровня звукового давления по оси Y

Ось Y №	Закрытый объём			Открытый объём				
				Среднее				Среднее
1	129,7	139,1	142,4	137,0667	129,6	125,8	127,3	127,5667
2	137,7	143,6	141,2	140,8333	125,7	133,1	132,8	130,5333
3	142,6	144,9	142,2	143,2333	129,9	132,1	127,2	129,7333
4	144,6	142,6	140,2	142,4667	136,8	136,6	138,4	137,2667
5	142,7	143,3	144,4	143,4667	135,2	130,2	131,4	132,2667
6	140,3	142,9	137,6	140,2667	130,7	136,5	133,2	133,4667
7	137,8	149,8	149,1	145,5667	125,9	126,2	127,4	126,5
8	139,9	142,4	145,9	142,7333	129,8	130,7	127,7	129,4
9	124,6	120,3	121,9	122,2667	141,3	143,4	142,6	142,4333
10	145,3	144,3	129,8	139,8	135	134,3	138,6	135,9667
11	142,9	138,1	140,2	140,4	134,5	136,7	137,8	136,3333
12	136,3	142,8	137,8	138,9667	125,3	126,2	125,9	125,8
13	141,2	147,8	148,5	145,8333	134,4	136,7	136,6	135,9
14	140,1	145,2	143,7	143	131,9	132	131,7	131,8667
15	140,7	139,6	137,8	139,3667	128,1	131,2	130,9	130,0667
16	135,4	139,5	137,9	137,6	127,4	130,2	131,2	129,6
17	139,4	137	136,3	137,5667	129,1	128,2	127,6	128,3

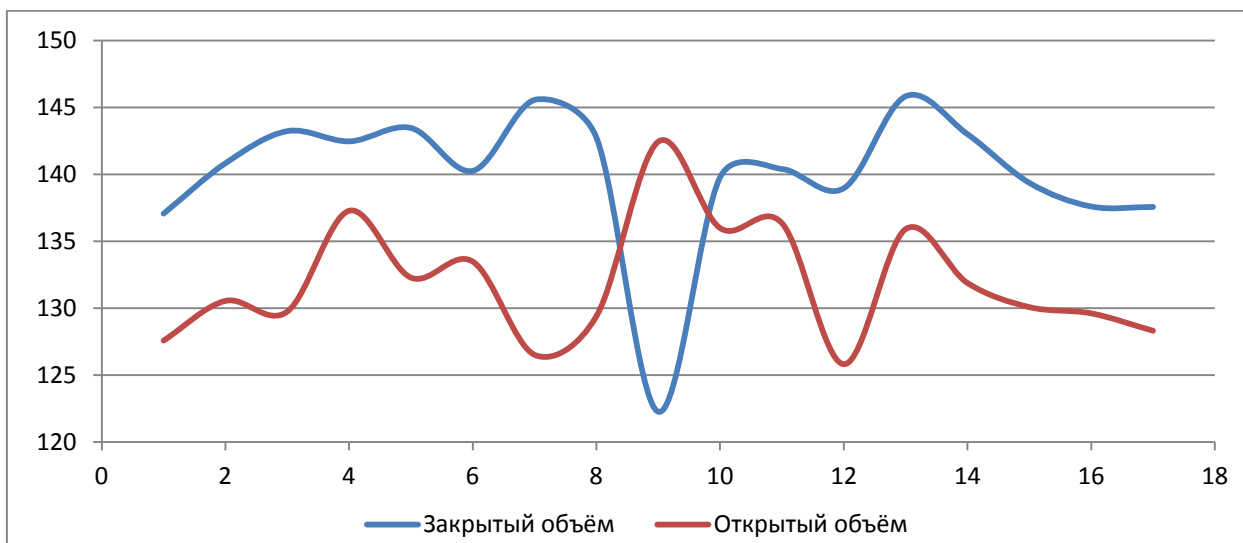


Рисунок 6. Распределение уровня звукового давления по оси Y

Для подтверждения эффективности сушильной камеры были проведены эксперименты с различными материалами, такими как корень радиолы розовой («золотой корень»), морковь и бананы. Эксперименты проводились при комнатной температуре 18-19 °С и относительной влажности воздуха не менее 64%. На рисунке 7 показан график скорости сушки в сушильной камере.

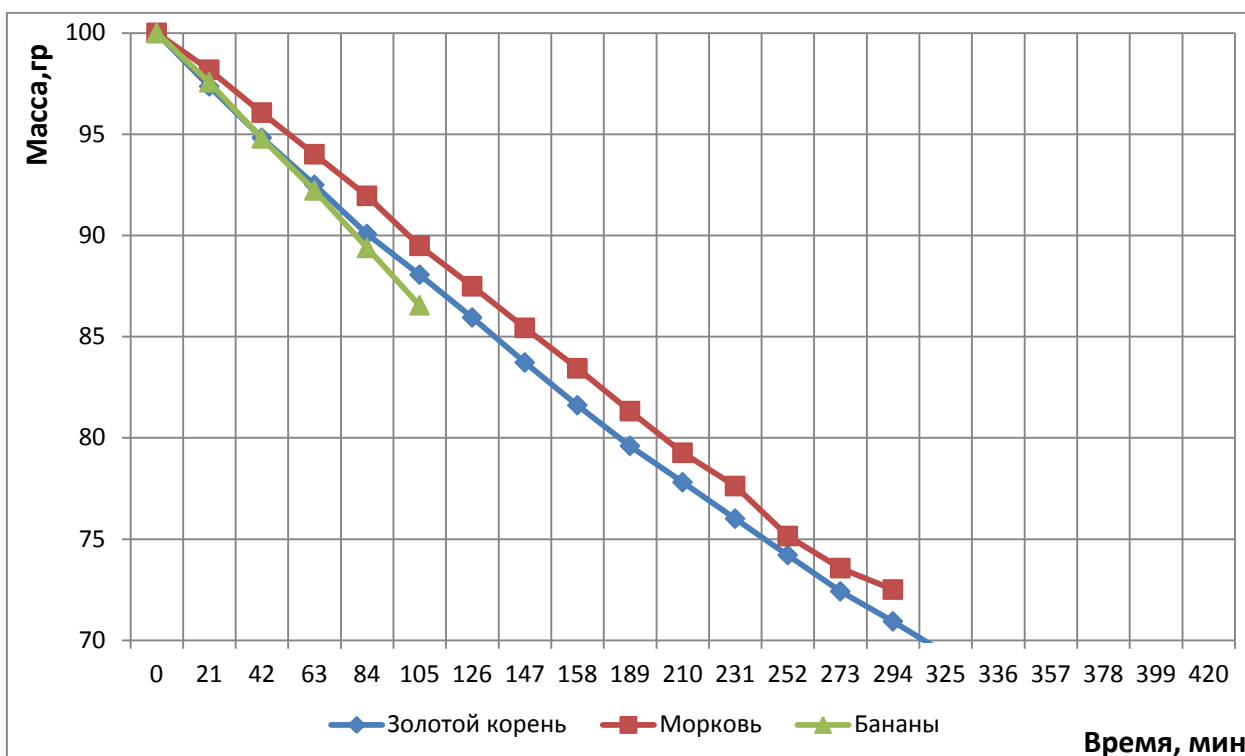


Рисунок 7. Скорость сушки в сушильной камере

Из графика видно, что результаты скорости сушки ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности для золотого корня, моркови и бананов практически идентичны. Морковь после одного часа эксперимента потеряла порядка 27% своей массы. Затем морковь была оставлена при комнатной температуре на сутки. В результате на поверхности образовался налёт плесени, свидетельствующий о порче продукта.

Кольца бананов, при комнатной температуре 18-19 °С (критическая температура для бананов), за время равное 127 мин потеряли порядка 14%, при этом твердая мякоть размягчилась и начала разлагаться.

Кольца корня «радиолы розовой», при воздействии 310 мин. потеряли 30% своей массы и покрылись корочкой тёмного цвета, которая, по прошествии 15 часов, не была покрыта налётом плесени, что свидетельствует о правильной сушке. Фотография корня «радиолы розовой» после воздействия ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности показана на рисунке 8.

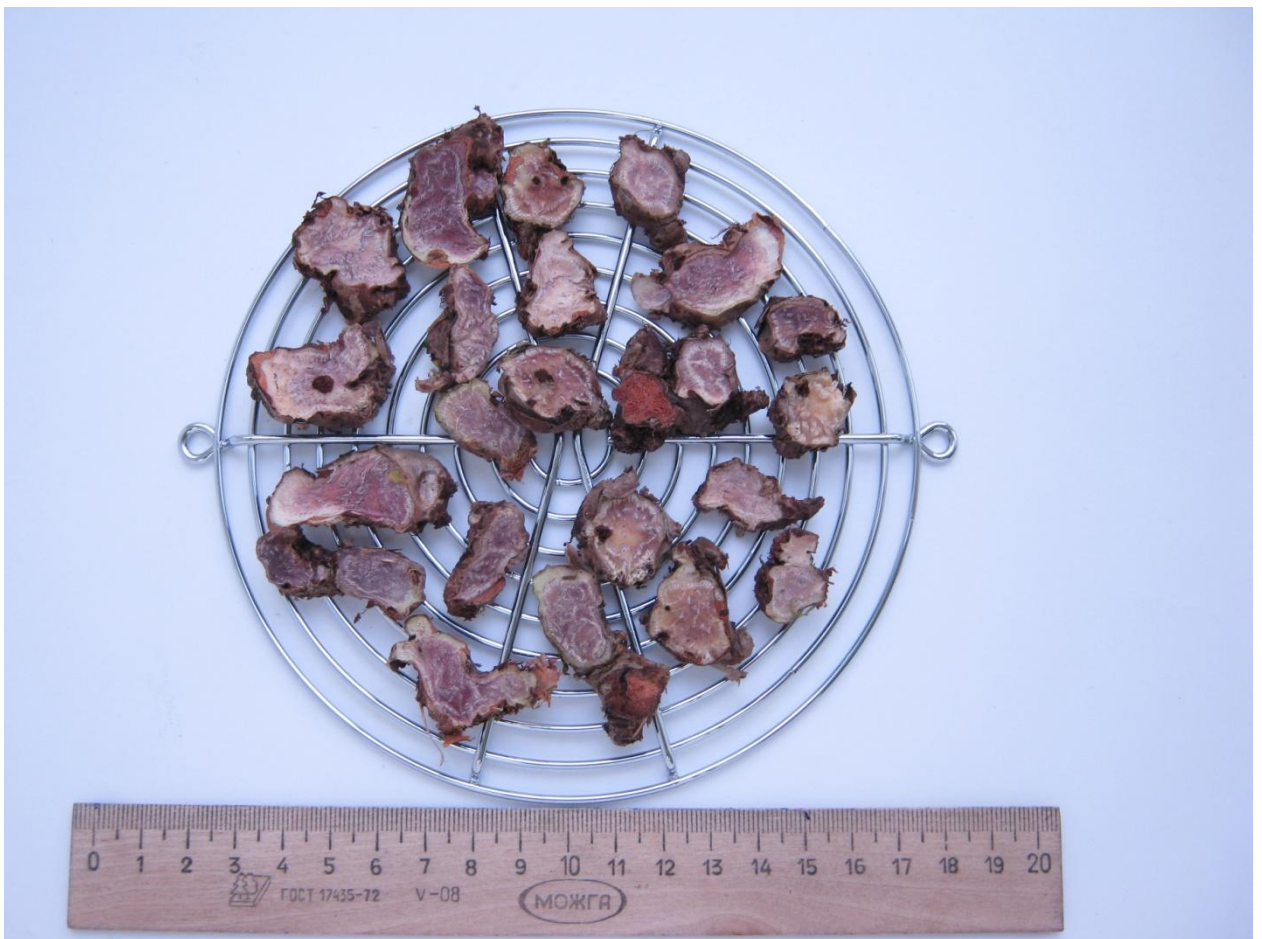


Рисунок 8. Кольца корня «радиолы розовой» после сушки (потеряно 30% массы)

Таким образом, установлено, что:

– максимум уровня звукового давления наблюдается при закрытом объёме, когда происходит отражение и взаимное усиление ультразвуковых колебаний внутри объёма.

– при использовании излучателя в сушильной камере создается достаточно равномерное акустическое поле со средним значением уровня звукового давления 140,5 дБ.

- полученные значения уровня звукового давления (минимальный уровень звукового давления, при котором эффект акустической сушки становится заметным 130дБ) являются достаточным для эффективной реализации процесса сушки различных материалов пищевой промышленности.