

Процессы излучения звука при резании пищевых продуктов

Заплетников И.Н.¹, Пильненко А.К.^{2*}

¹ Зав. каф. оборудования пищевых производств, Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, Украина, г. Донецк, ул. Дубравная, д. 54

² Доц. каф. оборудования пищевых производств, Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, Украина, г. Донецк, ул. Н. Островского, д.49, кв. 19

Аннотация

Представлены результаты экспериментального исследования излучения звука при резании наиболее распространенных овощей и яблок в октавных полосах частот и по уровню звука. Установлено влияние толщины режущего ножа и модуля упругости продукта на акустические параметры процесса, а также получена его многофакторная модель.

Ключевые слова: уровень звукового давления, резание, овощи, многофакторная модель.

The emission of sound at cutting food

Zapletnikov I.N.¹, Pilnenko A.K.¹.

¹ Professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine

² Assistant professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine

Abstract

The results of experimental studies of radiation of sound waves when cutting most common vegetables and apples in octave bands and the level of sound. The influence of the thickness of the cutting blade and the elastic modulus of the product on the acoustic parameters of the process and get it multifactor model.

Key words: *sound pressure level, cutting vegetables, multi-factor model*

Введение

Изучению процессов резания пищевых продуктов посвящено большое количество работ, опубликованных в странах СНГ и за рубежом, среди которых наиболее значительными являются [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7]. В работах по резанию пищевых продуктов рассматриваются вопросы кинематики и динамики взаимодействия рабочих органов разнообразной конструкции с продуктом, влияния свойств продуктов, трения и износа рабочих органов, энергетические вопросы и др. Однако вопросы излучения акустической энергии в виде звуковых волн остаются без внимания. В процессе резания пищевых продуктов, даже в бытовых условиях, наблюдается характерный шум, связанный с этим излучением. Что касается режущего оборудования пищевых производств, то величина акустического излучения окажется более значительной. С точки зрения снижения уровня шума, излучаемого режущим оборудованием в производственных цехах пищевых производств, общественного питания это явление заслуживает основательного исследования как с технической, так и с экологической стороны.

* E-mail: oblادن@kaf.donnuet.dn.ua (Заплетников И.Н.), pilnenko_a@mail.ru (Пильненко А.К.)

Как показали наши исследования шумовых характеристик ряда режущего оборудования пищевых производств – овощерезок, протирачных машин, мясорубок, картофелечисток и др. [8; 9; 10] уровни излучаемого ими звука составляют от 70 до 89 дБА при работе с продуктом и на 10-12 дБА меньше при работе без продукта. Превышение санитарных норм по шуму достигается при работе машин с продуктом.

Целью данной работы является количественная оценка влияния технологических факторов на излучение звука при резании пищевых продуктов. За критерий количественной оценки принимается уровни звукового давления, возникающие при резании пищевых продуктов.

1. Методические предпосылки

Предварительные исследования показали, что уровни звукового давления в этих исследованиях меняются в пределах 30-40 дБА. Для получения корректных результатов необходимо соблюдать соответствующие акустические условия измерения [12].

Измерения проводились в реверберационной камере объемом 71 м³ в соответствии со стандартом ИСО 3743-1-94; 3743-2-94. Расхождение между внешним шумом и источником звука составило более 10 дБ (дБА) как в октавных полосах частот, так и по скорректированному по А уровню звука. Измерения уровней звукового давления (УЗД) проводилось аттестованным шумомером «Ассистент» (Россия) в октавных полосах частот и уровню звука. Микрофон устанавливался на технологическом столе, измерительное расстояние 1 м. Продукт закреплялся на штативе. Резание продукта осуществлялось вручную лезвиями различной толщины: $0,1 \times 10^{-3}$ м; $0,2 \times 10^{-3}$ м; $0,4 \times 10^{-3}$ м; $1,6 \times 10^{-3}$ м. Использовались сырые овощные продукты: капуста, картофель, свекла, лук и морковь, а также яблоко. Механические свойства исследуемых продуктов приведены в таблице 1 [13; 14].

Таблица 1 – Механические свойства исследуемых продуктов

№	Продукт	Модуль упругости продукта, МПа	Удельное сопротивление резания с учетом сил трения о грани ножа, Н/м ($\alpha=15^\circ$)	
			вареный	сырой
1	Капуста	4,0	-	1900-2300
2	Картофель	3,8	100-110	800-880
3	Свекла	5,8	240-280	1300-1500
4	Лук	1,8	170-180	850-960
5	Морковь	6,5	200-250	1250-1450
6	Яблоко	0,1×2,2	-	30-37

2. Результаты экспериментальных исследований

Результаты экспериментальных исследований изменения уровней звукового давления при резании пищевых продуктов в октавных полосах частот и по уровню звука представлены ниже.

Графическая интерпретация результатов проведенных экспериментов представлена на рисунках 1-6.

Исходя из полученных результатов можно сделать следующие заключения:

1. При резании пищевых продуктов происходит излучение звука с изменением звукового давления в диапазоне от 15 до 45 дБ в октавных полосах частот и от 23 до 37 дБА по уровню звука.

2. Наибольшая величина УЗД приходится на низкие частоты 63 и 125 Гц. На средних частотах 500 и 1000 Гц наблюдается снижение УЗД, а затем снова увеличение на высоких частотах не зависимо от вида продукта и толщины лезвия.
3. При резании продуктов с более низким модулем упругости (капуста, лук, яблоко) излучается меньше УЗД для ножей меньшей толщины на средних частотах. На излучение звука при резании продуктов с большим модулем упругости (свекла, морковь, картофель) влияние тонких лезвий сказывается в меньшей степени.
4. Наиболее существенное снижение УЗД наблюдается при резании наиболее тонким ножом $0,1 \times 10^{-3}$ м продуктов с меньшим модулем упругости (лук, капуста) (Рис. 1) и картофель на высоких частотах (Рис.2).

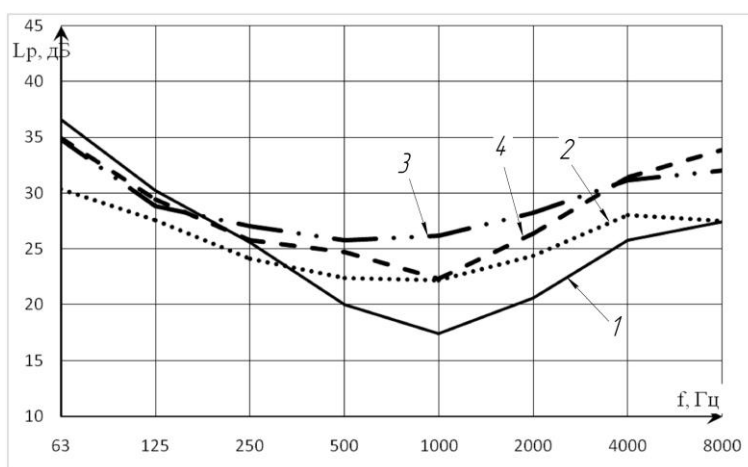


Рис. 1. Уровень звукового давления при резании пищевого продукта – капусты, лезвием толщиной t , мм: 1 – $t=0,1$ мм; 2 – $t=0,2$ мм; 3 – $t=0,4$ мм; 4 – $t=1,6$ мм

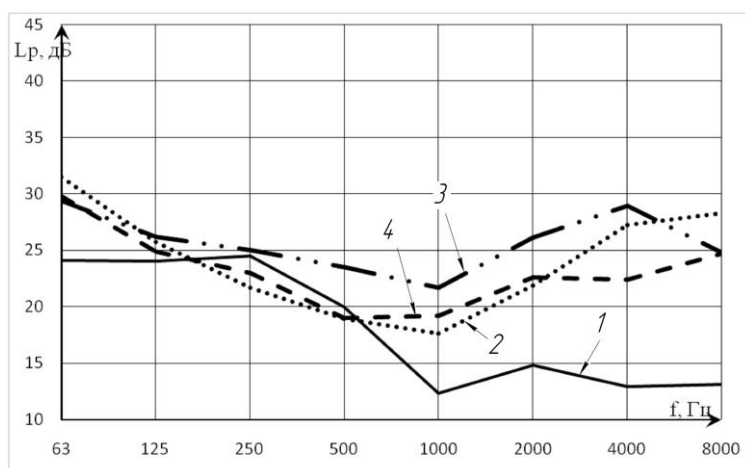


Рис. 2. Уровень звукового давления при резании пищевого продукта – картофеля, лезвием толщиной t , мм: 1 – $t=0,1$ мм; 2 – $t=0,2$ мм; 3 – $t=0,4$ мм; 4 – $t=1,6$ мм

5. На высоких частотах 2000-8000 Гц УЗД для продуктов с высоким модулем упругости (свекла, морковь, картофель) графики ШХ (Рис. 3 и 5) носят идентичный характер в пределах точности измерений. Они имеют линейную зависимость от частоты. Можно полагать, что излучение звука от взаимодействия ножа с этими продуктами на высоких частотах стабильно.

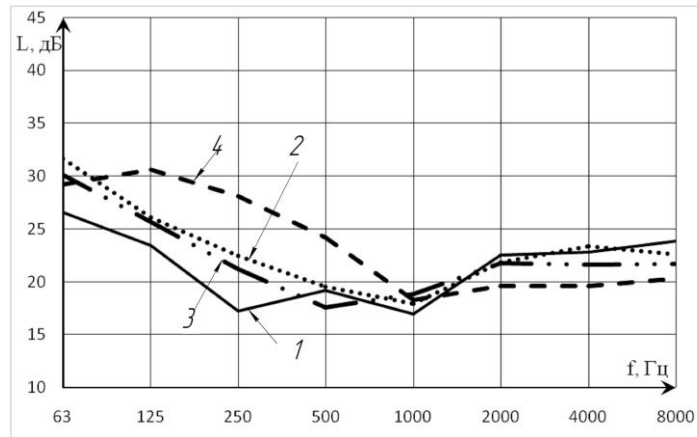


Рис. 3. Уровень звукового давления при резании пищевого продукта – свеклы, лезвием толщиной t , мм: 1 – $t=0,1$ мм; 2 – $t=0,2$ мм; 3 – $t=0,4$ мм; 4 – $t=1,6$ мм

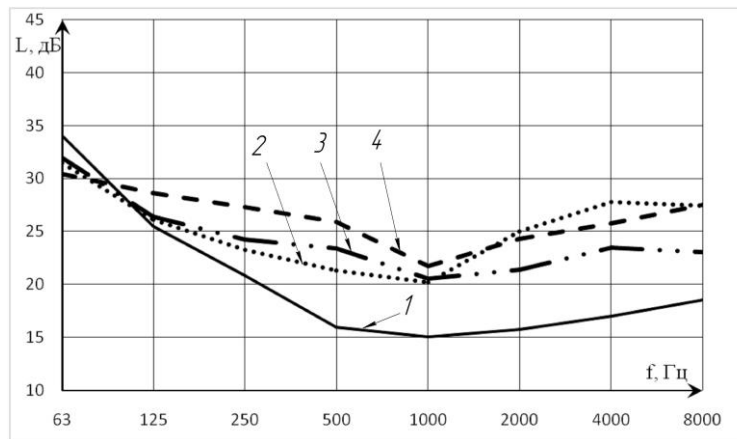


Рис. 4. Уровень звукового давления при резании пищевого продукта – лука, лезвием толщиной t , мм: 1 – $t=0,1$ мм; 2 – $t=0,2$ мм; 3 – $t=0,4$ мм; 4 – $t=1,6$ мм

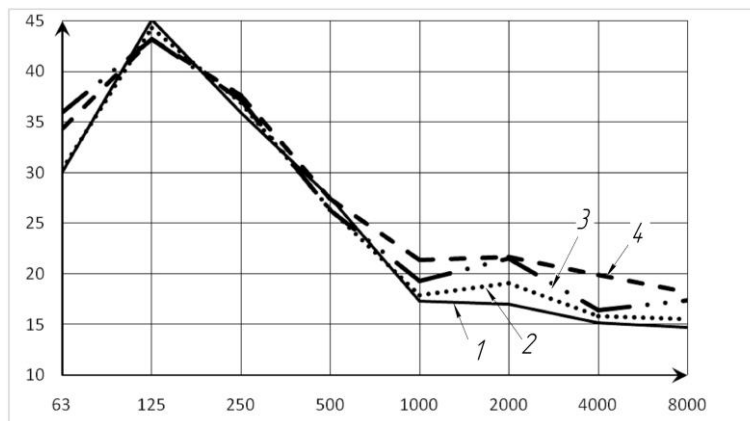


Рис. 5. Уровень звукового давления при резании пищевого продукта – моркови, лезвием толщиной t , мм: 1 – $t=0,1$ мм; 2 – $t=0,2$ мм; 3 – $t=0,4$ мм; 4 – $t=1,6$ мм

6. Несколько отдельно следует остановиться на излучении звука при резании продуктов с низким модулем упругости (Рис.6). Характер ШХ напоминает ШХ при резании продуктов со средним модулем упругости (капуста, лук), но влияние наибольшей толщины лезвия $1,6 \times 10^{-3}$ имеет место быть при резании

тонкими лезвиями $0,1-0,4 \times 10^{-3}$ м, ШХ практически совпадают, но при резании толстым лезвием $1,6 \times 10^{-3}$ м происходит возрастание УЗД на 5-17 дБ в диапазоне 1000-4000 Гц.

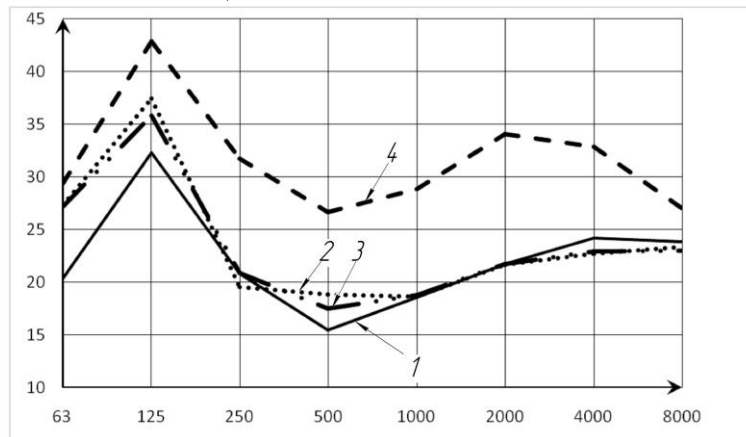


Рис. 6. Уровень звукового давления при резании пищевого продукта – яблоко, лезвием толщиной $t, \text{мм}$: 1 – $t=0,1$; 2 – $t=0,2$; 3 – $t=0,4$; 4 – $t=1,6$

7. При измерениях по уровню звука (Рис. 7) наблюдается возрастание УЗД при резании моркови, лука и яблока с увеличением толщины ножа на 2-7 дБА, для капусты – УЗД не изменяется, а для свеклы и картофеля даже снижается на 3 дБА. Можно предположить, что измерения по уровню звука дают неоднозначный результат. Данные следует перепроверить.

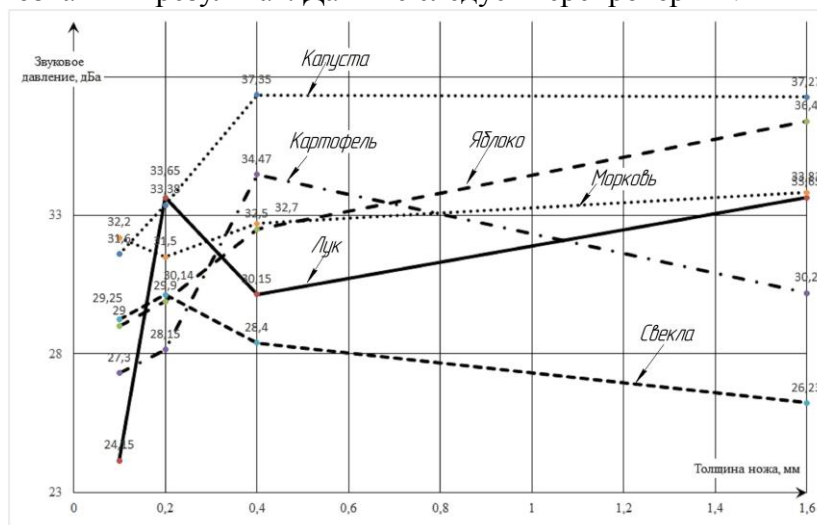


Рис. 7. Изменение уровня звука при резании пищевых продуктов ножами различной толщины

3. Многофакторный эксперимент

С целью получения количественной информации о влиянии переменных факторов толщины ножа (x_1) и модуля упругости продукта (x_2) на излучение звука использован метод Бокса-Уилсона [13]. В качестве целевой функции y применен уровень звука, излучаемый при резании продукта с наибольшим модулем упругости – моркови. Матрица планирования 2^2 . Уровни и интервалы варьирования приведены в таблице 2. Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 3.

Таблица 2 – Уровни и интервалы варьирования факторов в процессе резания

Уровни		Факторы	
		Толщина режущего инструмента, $X_1 \cdot 10^{-3}$, м	Модуль упругости продукта, X_2 , МПа
Основной	0	0,75	5,15
Интервал варьирования	Δi	0,85	1,35
Верхний	+1	1,6	6,5
Нижний	-1	0,1	3,8

Таблица 3 - Матрица планирования эксперимента 2^2

№	Факторы				Функция отклика уровня звука, дБА				
	x_0	x_1	x_2	x_{12}	y_1	y_2	y_3	y_4	y_{cp}
1	+	-	-	+	25,9	27,7	26,8	32,2	28,15
2	+	+	-	-	30,6	36,5	36,1	34,7	34,4
3	+	-	+	-	32,2	32,8	33	33	32,6
4	+	+	+	+	34,5	33,5	33,5	33,7	33,8

После проверки коэффициентов регрессии и адекватности получена многофакторная модель уровня звука в кодированных значениях факторов:

$$y(x_1, x_2) = 32,24 + 1,986 \cdot x_1 + 0,96 \cdot x_2 - 1,26 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (1)$$

Для получения уравнения (1) в натуральных переменных использованы зависимости

$$x_1 = \frac{h - h_{осн}}{\Delta h} = \frac{h - 0,85}{0,75}; \quad x_2 = \frac{E - E_{осн}}{\Delta E} = \frac{E - 5,15}{1,35}; \quad (2)$$

Уравнение в натуральных переменных имеет вид

$$y(h, E) = 20,88 + 9,1 \cdot h + 1,77 \cdot E - 1,24 \cdot h \cdot E, \text{ дБА} \quad (3)$$

В качестве примера, если подставить в полученное уравнение по верхнему (максимальному) уровню $h=1,6$ мм; $E=6,5$ МПа, тогда $y=33,93$ дБА, а если подставить в полученное уравнение по нижнему (минимальному) уровню $0,1$ мм; $E=3,8$ МПа, тогда $y = 28,03$ дБ.

График и уравнения регрессии для верхнего уровня приведены на рисунке 8.

$$y(x_1, x_2) = 32,24 + 1,986 \cdot x_1 + 0,96 \cdot x_2 - 1,26 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (4)$$

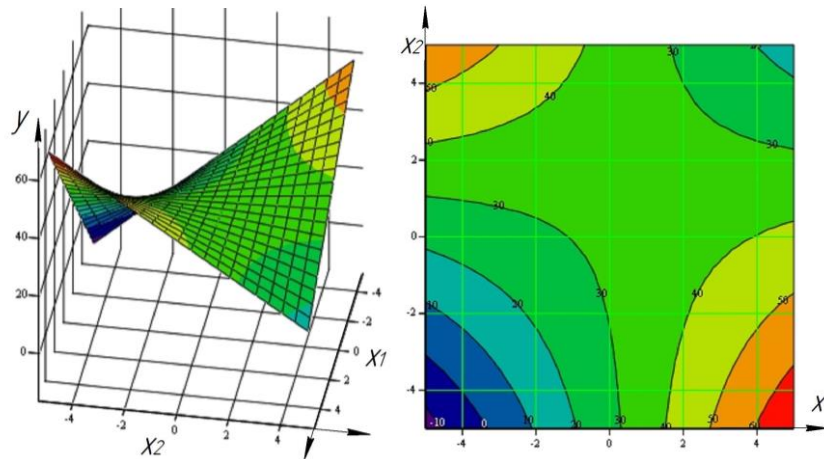


Рис.8. Графическая интерпретация уравнения (4)

Анализ многофакторной модели (1) и ее графической интерпретации показал, что при резании моркови на уровень звука наиболее существенное влияние оказывает толщина ножа и в меньшей степени модуль упругости, с возрастанием этих факторов уровень звука увеличивается в исследуемом диапазоне варьирования переменных факторов. Парное взаимодействие факторов x_1 и x_2 положительно сказывается на величину излучаемого звука. Вместе с тем, наблюдается и область минимальных значений уровня звука при резании данного продукта, если $x_1=1 \times 10^{-3}$ м и $x_2=1,7$ МПа.

Заключение

При резании пищевых продуктов происходит излучение звука с изменением звукового давления в диапазоне от 15 до 45 дБ в октавных полосах частот и от 23 до 37 дБА по уровню звука. Наибольшие уровни звукового давления, создаваемого от взаимодействия режущего инструмента с пищевым продуктом, возникают на низких частотах, на средних частотах уровни снижаются, на высоких частотах могут возрастать для продуктов с низким модулем упругости или оставаться стабильными для продуктов с высокими модулями упругости. На параметры акустического процесса при резании пищевых продуктов влияет толщина лезвия и модуль упругости продукта. Получена математическая зависимость этого влияния для продукта с наибольшим модулем упругости (сырая морковь). Наиболее значимым фактором оказалась толщина лезвия. Установлена область переменных факторов с минимальным уровнем звукового давления.

Список литературы

1. Даурский А.Н. Резание пищевых материалов / А.Н. Даурский, Ю.А. Мачихин. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 240 с.
2. Панфилов В.А. Теоретические основы пищевых технологий: в 2-х кн. / В.А. Панфилов. – М.: КолосС, 2009. – 800 с.
3. Мачихин Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 216 с.
4. Гуць В.С. Определение усилия резания продуктов с разными структурно-механическими свойствами / Гуць В.С., Губеня А.А. // Научни трудове на УХТ, том 57, свиток 2. – Пловдив – 2010. – С. 411-416.

5. Остриков А.Н. Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов. – СПб.: ГИОРД, 2003.– 352 с.
6. Cutting force of fibrous materials. Dowgiallo Anrzej. J. Food Eng. 2005. 66, №1, с. 57-61.
7. Guts Viktor. Modelling of food product cutting / Viktor Guts, Oleksiy Gubenia, Stefan Stefanov // 10th International conference “Research and development in mechanical industry – 2010”, Donji Milanovac, Serbia, 10-16 september 2010. Vol. 2. – P.1100-1105.
8. Zapletnikov I.N., Gordienko A.V., Kirichenko V.A., Pilnenko A.K. Noise characteristics of universal kitchen vegetable cutter // The advanced science journal, USA, 2014, p. 19–22.
9. Заплетников И.Н. Виброакустика оборудования пищевых производств: монография / И.Н. Заплетников. – Харьков: Вид-во НТМТ, 2015, - 542 с.
10. Заплетников І.М., Кіріченко В.О., Севаторова І.С. Визначення порівняльних шумових характеристик овочерізок / Заплетников І.М., Кіріченко В.О., Севаторова І.С. // Наукові праці / Одеська нац. акад. харч. технол. – 2010. – Вип. 37. – С.303-307.
11. Заплетников И.Н. Протирка пищевого сырья: монография / И.Н. Заплетников, В.А. Парамонова. – Донецк : ДонНУЭТ. – 2012. 169 с.
12. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник/ Н.И. Иванов. – 3-е изд. Переаб. – М.: Лотос, 2013. – 432 с.
13. Заплетников И.Н., Шеина А.В., Гордиенко А.В. Экспериментальные исследования процесса резания растительных материалов. Актуальные вопросы современной науки: сборник научных трудов / Под общ. Ред. С.С.Чернова. – Новосибирск: Издательство ЦРНС, 2014. – Выпуск 33. С. 52-62.
14. Степанова Е.Г., Причко В.А. Реологические свойства яблок при различных способах их обработки/ Е.Г. Степанова. – Краснодар: Известия вузов. Пищевая технология, № 5-6, 1999г. – С. 72-73.
15. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений [Текст] : монография / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.