

УДК 621.311

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЛУФАБРИКАТОВ ШОКОЛАДНОГО ПРОИЗВОДСТВА, МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ СПОСОБОМ

Беззубцева М.М.

*ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»,  
Санкт-Петербург, Пушкин, e-mail: mysnegana@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования гранулометрического состава полуфабрикатов шоколадного производства, переработанных в аппаратах с магнитооживленным слоем ферротел – электромагнитных механоактиваторах (ЭММА). Проанализированы результаты опытов по диспергированию сахарного песка и какао крупки на трех типах ЭММА, представляющих предмет изобретений, при различных режимах работы этих аппаратов. Приведены зависимости изменения гранулометрического состава полуфабрикатов шоколадного производства по контролируемым фракциям 10 и 30 мкм от времени измельчения. Математической обработкой получено эмпирическое уравнение, позволяющее определить степень измельчения исследуемых продуктов в любой момент времени обработки. Выявлено, что среднее квадратическое отклонение расчетных значений от опытных составляет не более 2,1%. В этой связи уравнение целесообразно использовать при разработке импортозаменяющих технологий диспергирования продуктов в ЭММА.

**Ключевые слова:** полуфабрикаты шоколадного производства, электромагнитные механоактиваторы

## RESEARCH OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF THE SEMIFINISHED PRODUCTS OF CHOCOLATE PRODUCTION MECHANOACTIVATED BY THE ELECTROMAGNETIC METHOD

Bezzubceva M.M.

*St.-Peterburg agrarian university, St.-Peterburg, Pushkin, e-mail: mysnegana@mail.ru*

In article results of a research of particle size distribution of the semifinished products of chocolate production processed in devices with the magnetofluidised layer are provided. Ferrotel – electromagnetic mechanoactivators (EMMA). Results of experiments on dispersing of granulated sugar and cocoa of a krupka on three EMMA types representing a subject of inventions in case of various operating modes of these devices are analysed. Dependences of change of particle size distribution of semifinished products of chocolate production on controlled fractions 10 and 30 of micron from crushing time are given by Mathematical handling the empirical equation allowing to determine extent of crushing of the researched products at any moment of handling is received. It is revealed that the average quadratic deviation of calculated values from experienced constitutes no more than 2,1%. In this regard it is reasonable to use the equation in case of development of import-substituting technologies of dispersing of products in EMMA.

**Keywords:** semi-finished products of chocolate production, electromagnetic mechanoactivators

Из рассмотрения существа процесса, происходящего в ЭММА, можно заключить, что размольные элементы под действием двух потоков энергии создают достаточно однородное поле силового воздействия на частицы продукта, который одновременно с усилиями разрушения подвергается интенсивному перемешиванию по всему объему рабочей камеры [1, 2, 3, 14]. С увеличением времени обработки все большее число частиц попадает под действие размольных элементов, в результате чего частицы разрушаются и переходят в область более мелких фракций [7, 8, 9]. По мере уменьшения среднего размера частиц их прочность, т.е. сопротивляемость разрушению возрастает. Одновременно уменьшается и вероятность попадания частиц в зону силового воздействия, увеличивается энергоемкость процесса [10, 11, 12, 13]. Совместное воздействие этих факторов уменьшает скорость измельчения материала с течением времени обработки. Ввиду крайней сложности фи-

зической картины процесса разрушения материала в ЭММА [15], предсказать количественное изменение гранулометрического состава продукта в процессе его обработки невозможно без проведения экспериментальных исследований.

**Целью исследования** является анализ закономерностей изменения гранулометрического состава полуфабрикатов шоколадного производства по контролируемым фракциям 10 и 30 мкм от времени измельчения с получением в результате математической обработки эмпирического уравнения, позволяющего определить степень измельчения исследуемых продуктов в любой момент времени обработки.

### Материалы и методы исследования

Закономерности изменения гранулометрического состава полуфабрикатов шоколадного производства, механоактивированных электромагнитным способом. Используются аналитические и экспериментально-статистические методы исследований.

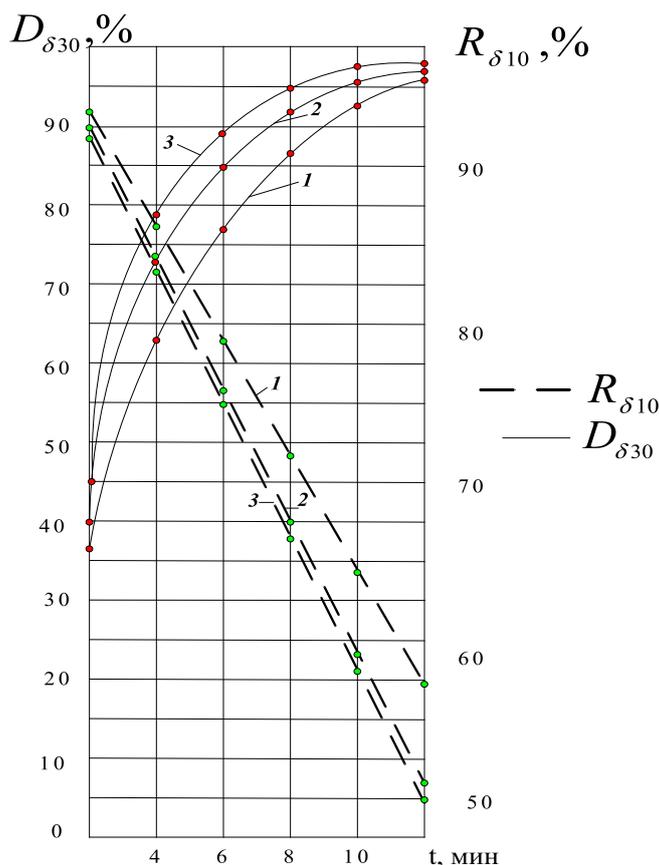


Рис. 1. Зависимость «прохода» и «остатка» сахарной пудры от продолжительности обработки сахарного песка 1 – в ЭММА–С (патент РФ № 2045195); 2 – в ЭММА – Ш (патент РФ № 1457881).; 3 – в ЭММА – К (патент РФ № 2007094)

Таблица 1

Значения коэффициентов уравнения кинетики измельчения полуфабрикатов шоколадного производства в электромагнитных механоактиваторах разных типов

Наименование продукта	Значения уравнения кинетики	Тип аппарата					
		ЭММА – С		ЭММА – Ш		ЭММА – К	
		$D_{\delta 30}$	$D_{\delta 10}$	$D_{\delta 30}$	$D_{\delta 10}$	$D_{\delta 30}$	$D_{\delta 10}$
Сахар	$K_a$	0,0988	0,0298	0,1060	0,0340	0,1329	0,0350
	$K_{II}$	3,6440	3,7010	3,6640	3,7010	3,6640	3,7010
	$K_{II} K_a$	0,3620	0,1103	0,3884	0,1258	0,4869	0,1295
Какао	$K_a$	0,0750	0,0280	0,0769	0,0299	0,0781	0,0328
	$K_{II}$	0,6350	6,7200	6,6350	6,7200	6,6350	6,7200
	$K_{II} K_a$	0,4976	0,1882	0,5102	0,2009	0,5182	0,2204

**Результаты исследования и их обсуждение**

С целью выявления зависимости изменения гранулометрического состава полуфабрикатов шоколадного производства по контролируемым фракциям 10 и 30 мкм от

времени измельчения были проведены серии опытов по диспергированию сахарного песка и какао крупки на трех типах ЭММА, представляющих предмет изобретений, при различных режимах работы аппаратов [4, 5, 6]. Результаты экспериментальных исследований частично представлены на рис. 1 и 2.

Математической обработкой получено эмпирическое уравнение, позволяющее определить степень измельчения исследуемых продуктов в любой момент времени обработки [5, 6, 9]:

$$D_{\delta 30,10} = \frac{K_H D_{\delta H} + 10^2 (e^{K_H K_a t} - 1)}{e^{K_H K_a t} - 1 + K_H}, \quad (1)$$

где  $D_{\delta H}$  – степень измельчения материала по контролируемым фракциям в начальный момент времени;  
 $t$  – время измельчения;

$K_H$  – коэффициент, характеризующий прочность продукта, его измельчаемость и условия измельчения;

$K_a$  – коэффициент, характеризующий скорость измельчения в начальный момент времени и определяющий наклон кинетической кривой к оси абсцисс в начале процесса.

Значения коэффициентов  $K_H$  и  $K_a$  приведены в табл. 1.

Сравнительный анализ расчетных значений и опытных данных представлен в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные и опытные данные по измельчению сахара и какао в ЭММА

Наименование продукта	Тип аппарата	Расчетные и опытные данные по кинетике измельчения	Время измельчения $t$ , мин					
			2	4	6	8	10	
Сахарный песок	ЭММА – С	«Проход» по контролируемой фракции размером менее 30 мкм						
		Опытные $D_{\delta 30}(on)$	36,90	57,00	74,40	85,00	93,20	
		Расчетные $D_{\delta 30}(P)$	37,86	57,38	74,10	85,64	92,51	
		$D_{\delta 30}(op)-D_{\delta 30}(P)$	-0,96	-0,38	0,30	-0,64	0,69	
	ЭММА – Ш	Опытные $D_{\delta 30}(on)$	38,70	59,00	76,40	88,00	93,50	
		Расчетные $D_{\delta 30}(P)$	39,28	60,08	77,07	88,06	94,14	
		$D_{\delta 30}(op)-D_{\delta 30}(P)$	-0,58	-1,08	-0,67	-0,06	-0,64	
	ЭММА – К	Опытные $D_{\delta 30}(op)$	45,10	70,00	86,10	95,00	98,20	
		Расчетные $D_{\delta 30}(P)$	44,65	69,44	85,97	94,21	97,73	
		$D_{\delta 30}(op)-D_{\delta 30}(P)$	0,45	0,56	0,13	0,79	0,47	
		ЭММА – С	«Проход» по контролируемой фракции размером менее 10 мкм					
			Опытные $D_{\delta 10}(on)$	6,80	11,90	21,00	27,50	35,20
Расчетные $D_{\delta 10}(P)$			7,40	12,90	20,02	27,48	34,86	
$D_{\delta 10}(op)-D_{\delta 10}(P)$			-0,60	-1,00	0,98	0,02	0,34	
ЭММА – Ш		Опытные $D_{\delta 10}(on)$	6,60	13,00	24,10	31,50	40,00	
		Расчетные $D_{\delta 10}(P)$	7,04	13,95	23,20	31,48	40,21	
		$D_{\delta 10}(op)-D_{\delta 10}(P)$	-0,44	-0,95	0,90	0,02	-0,21	
ЭММА – К		Опытные $D_{\delta 10}(on)$	7,30	15,50	21,00	32,50	41,40	
		Расчетные $D_{\delta 10}(P)$	7,30	15,40	20,58	32,70	41,88	
		$D_{\delta 10}(op)-D_{\delta 10}(P)$	0	0,10	0,42	-0,20	-0,48	
Какао		ЭММА – С	«Проход» по контролируемой фракции размером менее 30 мкм					
	Опытные $D_{\delta 30}(on)$		20,50	48,60	73,00	89,30	96,00	
	Расчетные $D_{\delta 30}(P)$		20,30	48,40	73,51	88,51	95,45	
	$D_{\delta 30}(op)-D_{\delta 30}(P)$		0,20	0,20	-0,51	0,79	0,55	
	ЭММА – Ш	Опытные $D_{\delta 30}(on)$	21,00	50,20	75,50	90,00	96,00	
		Расчетные $D_{\delta 30}(P)$	21,00	49,84	75,01	89,54	95,97	
		$D_{\delta 30}(op)-D_{\delta 30}(P)$	0	0,36	0,49	0,46	0,03	
	ЭММА – К	Опытные $D_{\delta 30}(on)$	22,40	50,50	76,00	91,10	97,20	
		Расчетные $D_{\delta 30}(P)$	21,40	50,78	75,94	90,11	96,27	
		$D_{\delta 30}(op)-D_{\delta 30}(P)$	1,00	-0,28	0,06	0,99	0,93	

Окончание табл. 2							
Наименование продукта	Тип аппарата	Расчетные и опытные данные по кинетике измельчения	Время измельчения t, мин				
			2	4	6	8	10
Какао	ЭММА – С	«Проход» по контролируемой фракции размером менее 10 мкм					
		Опытные $D_{\delta 10}(on)$	7,00	14,20	22,7	32,70	45,00
		Расчетные $D_{\delta 10}(P)$	6,04	14,17	23,52	33,95	44,88
		$D_{\delta 10}(on)-D_{\delta 10}(P)$	0,96	0,03	-0,82	-1,25	0,12
	ЭММА – Ш	Опытные $D_{\delta 10}(on)$	6,00	15,50	25,00	36,00	48,70
		Расчетные $D_{\delta 10}(P)$	6,80	15,29	25,44	36,72	48,67
		$D_{\delta 10}(on)-D_{\delta 10}(P)$	-0,80	0,21	-0,44	-0,72	0,03
	ЭММА – К	Опытные $D_{\delta 10}(on)$	7,50	17,20	29,00	41,40	56,20
		Расчетные $D_{\delta 10}(P)$	7,54	17,21	28,74	41,40	55,04
$D_{\delta 10}(on)-D_{\delta 10}(P)$		-0,04	0,01	0,26	0	1,16	

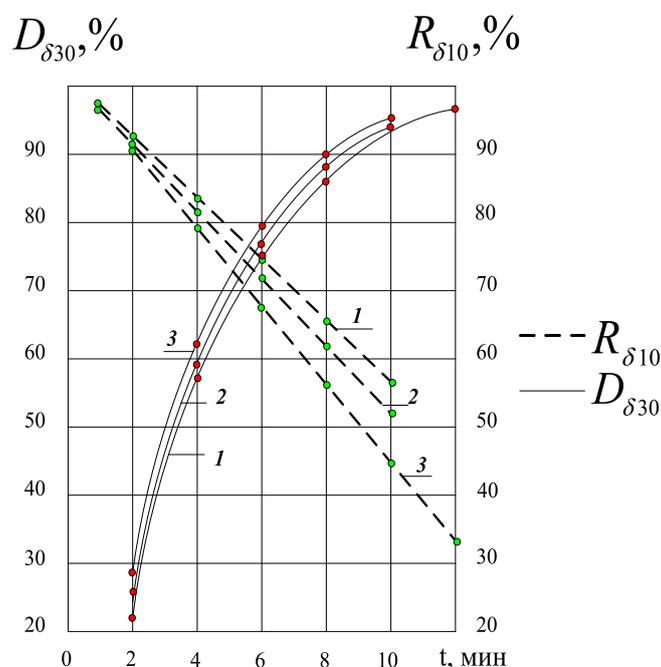


Рис. 2. Зависимость «прохода» и «остатка» какао третьего сорта от продолжительности обработки 1 – в ЭММА – С; 2 – в ЭММА – Ш; 3 – в ЭММА – К

### Заключение

Анализ представленных в статье данных свидетельствует, что полученное на основании обработки экспериментальных данных эмпирическое уравнение достаточно хорошо описывает кинетику процесса измельчения полуфабрикатов шоколадного производства электромагнитным способом на аппаратах различных конструктивных модификаций [8]. Среднее квадратическое отклонение расчетных значений от опытных составляет не более 2,1%. В этой

связи уравнение целесообразно использовать при разработке импортозамещающих технологий диспергирования продуктов в ЭММА [9].

### Список литературы

1. Беззубцева М.М. Прикладные исследования энергоэффективности электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 9-1. – С. 83.
2. Беззубцева М.М. Энергоэффективный способ электромагнитной механоактивации // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №5. – С. 92–93.

3. Беззубцева М.М. Электромагнитные измельчители для пищевого сельскохозяйственного сырья (теория и технолог. возможности). Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Санкт-Петербург, 1997.
4. Беззубцева М.М. Энергосберегающие технологии диспергирования сырья растительного происхождения. В сборнике: Инновации – основа развития агропромышленного комплекса материалы для обсуждения Международного агропромышленного конгресса. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Комитет по аграрным вопросам ГосДумы РФ, Правительство Санкт-Петербурга, Правительство Ленинградской области, С.-Петербургский государственный аграрный университет, ОАО «Ленэкспо». – 2010. – С. 65–66.
5. Беззубцева М.М. К вопросу исследования кинетики измельчения материалов в электромагнитных механоактиваторах (ЭММА) // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 9-1. – С. 81–82.
6. Беззубцева М.М. Уравнения кинетики процессов диспергирования в электромагнитных механоактиваторах (ЭММА) // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 9-1. – С. 83–84.
7. Беззубцева М.М. Условия энергоэффективности работы электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 9-1. – С. 84–85.
8. Беззубцева М.М. Механоактиваторы агропромышленного комплекса. Анализ, инновации, изобретения: монография / М.М. Беззубцева, В.С. Волков; М-во сельского хозяйства Российской Федерации, Санкт-Петербургский гос. аграрный ун-т. – Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2014. – 161 с.
9. Беззубцева М.М. Научное обоснование внедрения импортозамещающего способа электромагнитной механоактивации в аппаратно-технологические системы шоколадного производства: монография / М.М. Беззубцева, В.С. Волков, К.Н. Обухов. – СПб.: СПбГАУ, 2016. – 197 с.
10. Беззубцева М.М. Интенсификация классических технологических схем переработки сырья на стадии измельчения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 2-2. – С. 132–133.
11. Беззубцева М.М. Способ измельчения шоколадных масс // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1993. – № 5-6. – С. 65–67.
12. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. К вопросу исследования физико-механических процессов в магнитоожигенном слое ферротел // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 7-2. – С. 191–195.
13. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. Электромагнитный способ снижения энергоемкости продукции на стадии измельчения // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 8-3. – С. 399–400.
14. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. К вопросу исследования диспергирующих нагрузок в электромагнитных механоактиваторах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 8-5. – С. 847–851.
15. Bezzubceva M.M., Kotov A.V. Assessment of the magnetic fields structure in the working space of electromagnetic mechanical activators of cylindrical design. // International Journal Of Applied And Fundamental Research. – 2015. – № 1; URL: [www.science-sd.com/460-24756](http://www.science-sd.com/460-24756) (29.08.2016).