

УДК 663.5

UDC 663.5

**ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ  
КУКУРУЗНОГО И ПШЕНИЧНОГО  
ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ  
ПРИ ДВУХСТУПЕНЧАТОМ РАЗВАРИВАНИИ****INFLUENCE DEGREE OF GRINDING CORN  
AND WHEAT GRAIN MATERIAL ON ENERGY  
WITH TWO-STAGE OF COOKING**

Черепов Сергей Владимирович  
аспирант  
*Майкопский государственный технологический  
университет, г. Майкоп, Россия*

Cherepov Sergey Vladimirovich  
postgraduate student  
*Maikop State Technological University, Maikop,  
Russia*

В статье проанализировано влияние размера частиц кукурузной и пшеничной крупки на энергетические затраты при высокотемпературном разваривании. Приведена графическая зависимость времени разваривания от размера частиц зерновой крупки. Определены эквивалентные диаметры зерновок кукурузы и пшеницы. Установлено, что минимальные энергозатраты соответствуют размеру частиц, равному 1 мм, широко применяемому на спиртовых заводах России

The article analyzes the effect of particle size of corn and wheat middlings on energy costs at temperature cooking. It shows a graphical depiction time of cooking on the particle size of middlings grits. We have also defined the equivalent diameters of seed corn and wheat. We have found that the minimum energy correspond to a particle size of 1 mm, is widely used in alcohol plants in Russia

Ключевые слова: ДВУХСТУПЕНЧАТОЕ  
РАЗВАРИВАНИЕ, КУКУРУЗА, ПШЕНИЦА,  
СТЕПЕНЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ, ЭНЕРГОЗАТРАТЫ,  
ДИФфуЗИЯ

Keywords: TWO-STAGE OF COOKING, CORN,  
WHEAT, DEGREE OF GRINDING, ENERGY,  
DIFFUSION

Степень измельчения зерна в технологии производства ректификованного спирта оказывает существенное влияние на последующие процессы: разваривание зернового замеса, осахаривание и брожение. Экспериментальное определение оптимальной степени измельчения на базе технико-экономических показателей производства спирта связано с очень большим объемом работ. В этой связи при решении указанной задачи целесообразно использовать методы математического моделирования. Достаточно подробная и обоснованная математическая модель разработана по экспериментальным данным низкотемпературного ферментативного разваривания пшеничной крупки в лабораторных условиях [1], а также по данным промышленных испытаний для кукурузной [2] и пшеничной крупки [3] при высокотемпературном двухступенчатом разваривании зернового замеса. В основу модели положено решение уравнения нестационарной диффузии, которое выполнено численным методом сеток по неявной схеме. В модели учтен

разрыв крахмальных гранул в результате набухания и, следовательно, отрыв слоев материала, граничащих с жидкой фазой, в период всего процесса вплоть до полного разваривания зерновой крупки. Учтена также динамика изменения температур при нагревании зернового замеса и его разваривании. Точность результатов моделирования нестационарной диффузии проверена путем сравнения с результатами известных аналитических решений, полученных с помощью метода разделения переменных [4]. Идентификация математической модели проведена при использовании в качестве параметра величины энергии активации по данным работы спиртовых заводов ООО «КХ Восход» (республика Адыгея, г. Майкоп) и ООО «Стандарт Спирт» (Кабардино-Балкарская республика, г. Нарткала), на которых используется степень измельчения, соответственно по спиртзаводам, для кукурузной крупки при 90 %-ном проходе через сито и для пшеничной крупки 80 %-ном проходе через миллиметровое сито.

В настоящей работе проанализировано влияние размера частиц кукурузной и пшеничной крупки на энергетические затраты при разваривании. Моделирование проведено для частиц крупки размером, в мм: 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75 и 2. Двухступенчатое разваривание на обоих спиртзаводах протекало по следующей технологической схеме. После смешения в смесителе измельченного зерна с водой в пропорции 1:3 (1 кг зерна на 2,5-3 литра воды) замес подавался насосом через контактную головку вместе с паром из парового коллектора в выдерживатель I ступени, где обрабатывался под избыточным давлением 3,6-3,8 атм, затем поступал в паросепаратор-выдерживатель II ступени, где за счет резкого падения давления до 1,3-1,4 кгс/см<sup>2</sup> происходило охлаждение замеса и выделение вторичного пара. На обоих спиртзаводах используется крупка, размером 1 мм. Технологический режим разваривания приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Технологический режим разваривания на спиртзаводах  
ООО «Стандарт Спирт» (г. Нарткала) и ООО «КХ «Восход» (г. Майкоп)

Наименование	ООО «Стандарт Спирт»		ООО «КХ «Восход»	
	Время, мин	Температура, °С	Время, мин	Температура, °С
Выдерживатель I ступени	50 мин	145 °С	60 мин	138 °С
Паросепаратор-выдерживатель II ступени	30 мин	106 °С	20 мин	105 °С

Найденные значения энергии активации  $E_a$  и коэффициентов диффузии  $D$  при идентификации двухступенчатого разваривания приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры идентификации модели разваривания

ООО «Стандарт Спирт»		ООО «КХ «Восход»	
Энергия активации, $E_a$ , кДж/моль	Коэффициент диффузии, $D$ , м <sup>2</sup> /с	Энергия активации, $E_a$ , кДж/моль	Коэффициент диффузии, $D$ , м <sup>2</sup> /с
22,412	8,7·10 <sup>-12</sup> при $t = 145$ °С 4,48·10 <sup>-12</sup> при $t = 106$ °С	32,12	8,273·10 <sup>-12</sup> м <sup>2</sup> /с при 138 °С 3,641·10 <sup>-12</sup> м <sup>2</sup> /с при 105 °С

Определение времени разваривания для частиц, размер которых отличен от 1 мм, требует большого объема вычислений. В связи с тем, что используемое на производстве время разваривания на каждой из ступеней найдено в результате лабораторных испытаний и подтверждено в производственных условиях, то при поиске необходимого времени разваривания использовано то же соотношение времен для частиц других размеров. В связи с этим подбиралось такое суммарное время разваривания, при котором частицы крупки были полностью разварены. Этот итерационный процесс потребовал очень больших затрат машинного времени. Зависимость времени разваривания от размера частиц крупки приведена на рисунке 1. Результаты расчета времени разваривания кукурузной и пшеничной крупки для обеих ступеней приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Расчетное время разваривания кукурузной крупки

Наименование	Температура, °С	Размер частиц <i>кукурузной</i> крупки, мм						
		0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
		Время разваривания, мин						
Выдерживатель I ступени	145	12,5	28,57	50	77	110	150	195
Паросепаратор-выдерживатель II ступени	106	7,5	17,14	30	46,2	66	90	117
Суммарное время разваривания, мин:		20	45,71	80	123,2	176	240	312

Таблица 4 – Расчетное время разваривания пшеничной крупки

Наименование	Температура, °С	Размер частиц <i>пшеничной</i> крупки, мм						
		0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
		Время разваривания, мин						
Выдерживатель I ступени	138	16,4	34,5	60	92,4	132,6	180	234
Паросепаратор-выдерживатель II ступени	105	5,5	11,5	20	30,8	44,2	60	78
Суммарное время разваривания, мин:		21,9	46	80	123,2	176,8	240	312

Данные таблиц 3 и 4 использованы для определения оптимальной степени измельчения при принятии в качестве критерия оптимизации минимума суммарных энергозатрат на измельчение и разваривание.

Работа, затраченная на измельчение  $A_{изм}$ , Дж/кг, определена по формуле С.В. Мельникова [5]

$$A_{изм} = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1), \quad (2)$$

где  $\lambda$  – степень измельчения (отношение величины крупности исходного материала к крупности размолотого);  $C_1$ ,  $C_2$  – коэффициенты, зависящие от свойств измельчаемого материала, Дж/кг.

В расчетах принято  $C_1 = 12$  кДж/кг и  $C_2 = 8$  кДж/кг.

Степень измельчения  $\lambda$  определена по выражению (3) [5]

$$\lambda = \frac{D}{d}, \quad (3)$$

где  $D$ ,  $d$  – эквивалентный диаметр частиц до и после измельчения, мм.

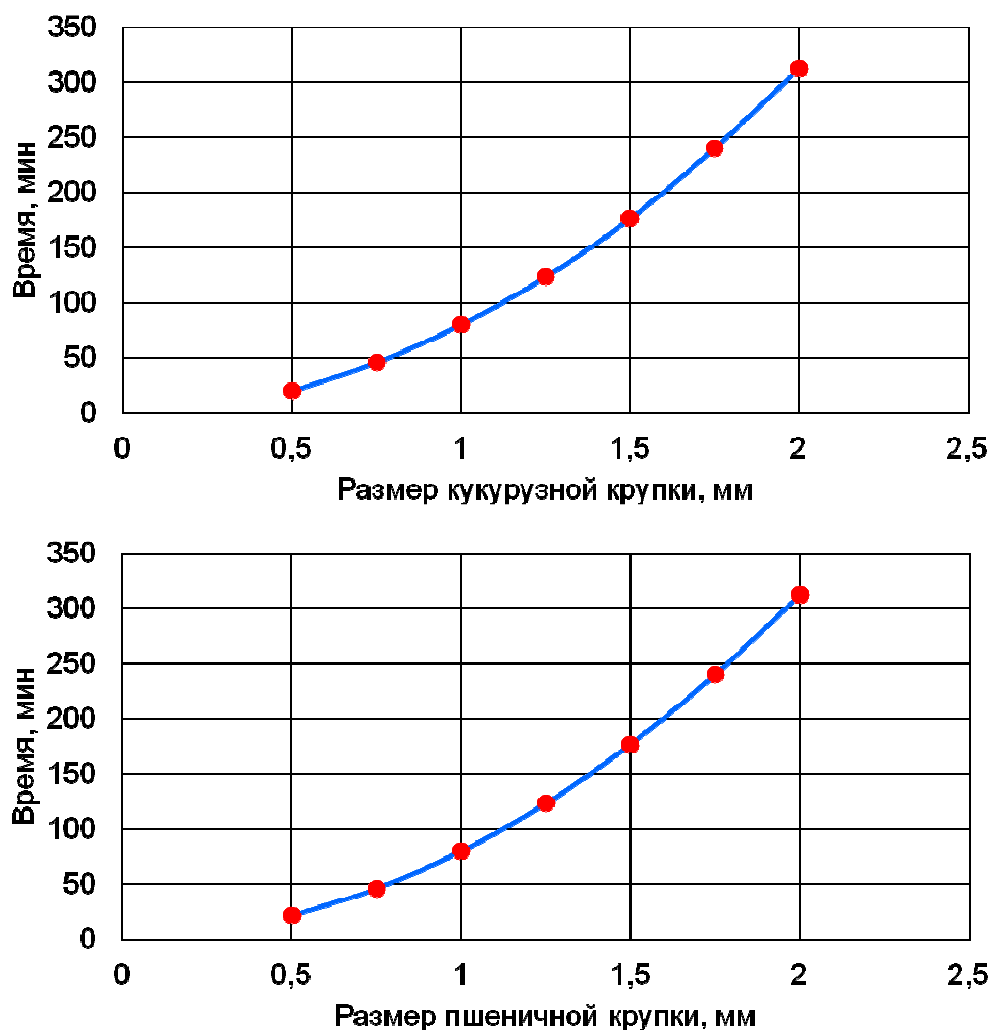
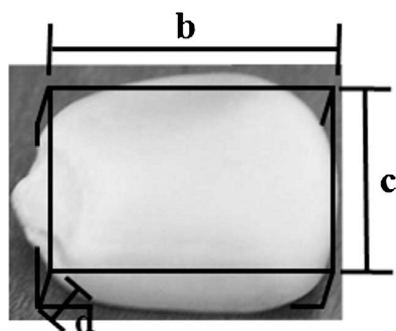


Рисунок 1 – Зависимость времени разваривания от размера частиц крупки

Эквивалентный диаметр частиц после измельчения принят равным размеру частиц крупки. Для определения эквивалентного диаметра зерна кукурузы и пшеницы необходимо определить объем зерновки. Для этого рассмотрим геометрическую форму зерна кукурузы и пшеницы, а также характеристики длины, ширины и толщины, приводимые в литературе.

Зарубежными авторами [6] предлагается рассматривать форму зерна кукурузы в виде параллелепипеда. На рисунке 2 приведены характерные размеры для зерна, выращенного в Мексике. Вычисленный по этим размерам эквивалентный диаметр оказался равным 9,784 мм.



$$b = 0,01174 \text{ м};$$

$$c = 0,00922 \text{ м};$$

$$d = 0,00453 \text{ м}$$

Рисунок 2 – Зерно кукурузы [6]

Рассмотрим отечественные зерна кукурузы и пшеницы, внешний вид которых приведен на рисунках 3 и 4. Геометрическая форма зерна кукурузы различна. Круглые зерна можно отнести к яйцеобразной форме (рисунок 3 а), а большие плоские – к неравностороннему эллипсоиду (рисунок 3 б). Зерно пшеницы (рисунок 4) определим как неравносторонний эллипсоид.



а)



б)

Рисунок 3 – Зерно кукурузы [7]



Рисунок 4 – Зерно пшеницы [8]

В соответствии с внешним видом проведем расчет, основываясь на геометрической форме яйца и неравностороннего эллипсоида.

Применяя принцип «золотого сечения» при расчете геометрических показателей авторами [9] изучена форма яиц, классифицированная на: а – моноасимметрическое; б – биоасимметрическое и в – симметрическое (рисунок 5).

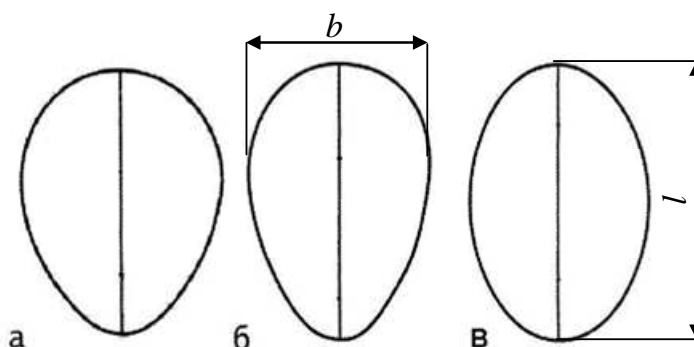


Рисунок 5 – Форма яиц [9]

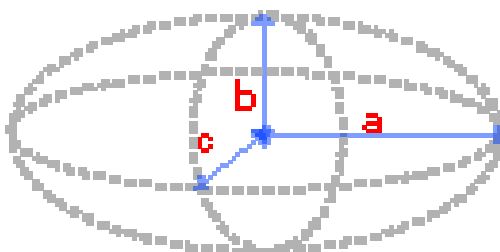
В результате определено [9], что объем любого яйца независимо от его геометрии подчиняется формуле

$$V = \frac{1}{6} \pi b^2 l, \tag{4}$$

где  $b$  и  $l$  – линейные размеры яйца ( $l > b$ ).

Объем неравностороннего эллипсоида (рисунок 6) вычисляется по формуле (5) [10].

$$V = \frac{4}{3} \pi abc. \tag{5}$$



$a$  – радиус по оси  $x$ ;  
 $b$  – радиус по оси  $y$ ;  
 $c$  – радиус по оси  $z$

Рисунок 6 – Неравносторонний эллипсоид

Характеристика зерен кукурузы (длина и толщина), калиброванных на шесть фракций (по Цециновскому) приведена в работе [11] (таблица 5). Объем зерна кукурузы вычислен по формуле (4) (таблица 5, фракции 1 и 2) и по формуле (5) – для фракции 3. В качестве эквивалентного диаметра принят диаметр шара, объем которого равен объему зерна. Результаты расчетов, вычисленные по средним значениям длины и ширины, приведены в таблице 6.

Таблица 5 – Геометрические размеры зерна кукурузы

№ п/п	Наименование фракции	Линейные размеры зерна кукурузы, мм			Объем, $V, \text{мм}^3$	Источник
		Длина $l$	Ширина $c$	Толщина $b$		
		от – до	от – до	от – до		
1	Большие круглые	8-10,5	–	5,25-6,5	–	[10]
2	Средние круглые	6,5-8	–	4,75-6,5	–	[10]
3	–	5,5-13,5	5-11,5	2,5-8	140-260	[12]

Таблица 6 – Результаты расчетов эквивалентного диаметра зерна кукурузы

№ п/п	Наименование фракции	Характеристика зерна кукурузы				
		Среднее значение, мм			Объем, $V, \text{мм}^3$	Диаметр, $d_{\text{экв}}, \text{мм}$
		Длина $l$	Ширина $c$	Толщина $b$		
1	Большие круглые	9,25	–	5,875	167,08	6,83
2	Средние круглые	7,25	–	5,625	120,05	6,12
3	–	9,5	8,25	5,25	215,44	7,44

Эквивалентный диаметр, найденный по среднему значению объема  $V_{cp} = 200 \text{ мм}^3$  (таблица 4, фракция 3), составляет  $d_{\text{экв}} = 7,26 \text{ мм}$ . Примем  $d_{\text{экв}} = 7 \text{ мм}$ .

Размеры зерна пшеницы приведены в таблице 7. Эквивалентный диаметр зерна пшеницы определим так же, как для зерна кукурузы. Так как в уравнении (5) параметры  $a$ ,  $b$  и  $c$  являются радиусами по трем осям координат, то средние значения длины, ширины и толщины (таблица 7), разделим пополам. Объем зерновки пшеницы вычислим по формуле (5). Результаты расчетов приведены в таблице 8.



Таблица 7 – Геометрические размеры зерна пшеницы

Линейные размеры, мм			Объем, $V$ , мм <sup>3</sup>	Источник
Длина	Ширина	Толщина		
4,0-11,2	1,6-4,0	1,6-3,4	–	[11]
4,2-8,6	1,6-4,0	1,5-3,8	19-42	[12]

Таблица 8 – Результаты расчета эквивалентного диаметра зерна пшеницы

Среднее значение линейных размеров, мм			Объем, $V$ , мм <sup>3</sup>	Диаметр, $d_{экв}$ , мм
Длина	Ширина	Толщина		
7,6	2,8	2,5	27,855	3,761
6,4	2,8	2,65	24,865	3,621

Полученные значения объема зерна пшеницы (таблица 8) находятся в согласии с диапазоном экспериментальных значений, приведенным в таблице 7. Эквивалентный диаметр, найденный по среднему значению объема (таблица 7) составляет  $d_{экв} = 3,88$  мм. По данным С.В. Мельникова [5] средний диаметр для пшеницы равен 3,8 мм, что находится в согласии с полученными данными.

Мощность на дробление  $N$ , Вт, вычислим по формуле (6) [5]

$$N = GA_{изм}, \tag{6}$$

где  $G$  – количество перерабатываемого зерна, кг/с.

В работе [12] крахмалистость кукурузы приведена в диапазоне от 67 до 76 %. По данным исследований, проведенных в работе [13], крахмалистость двух образцов фуражного зерна кукурузы, поступившего на переработку на спиртовые предприятия РФ в 2009–2010 гг. (природно-климатические условия выращивания и сбора зерна в эти года существенно отличались друг от друга) составила 64,7 % и 62,9 % на СВ. По данным [14] содержание крахмала в кукурузе в среднем составляет 66 % от СВ злака. Таким образом, при средней крахмалистости зерна кукурузы 66 % и выходе спирта из 1 т условного крахмала 65,9 дал согласно нормам технологического проектирования предприятий спиртовой промышленности НТП 10-12976-2000\* для производства 6000

дал спирта в сутки на ООО «Стандарт Спирт» (г. Нарткала) требуется 138 т зерна в сутки или порядка  $G = 1,6$  кг/с.

В соответствии с НТП 10-12976-2000\* при крахмалистости зерна пшеницы 52,3 % и выходе спирта из 1 т условного крахмала 66,4 дал для производства 3000 дал спирта в сутки на ООО «КХ «Восход» требуется 86,33 (~87) т зерна в сутки или порядка  $G = 1$  кг/с.

Результаты расчетов мощности на дробление приведены в таблицах 9 и 10.

Расчет затрат на греющий пар проведен из условия, что потери теплоты пропорциональны времени процесса разваривания и, таким образом, возрастал при увеличении размера частиц крупки.

Количество зернового замеса  $G_z$  при гидромодуле вода-зерно 3:1 составляет для кукурузы  $G_z = 138 \cdot 4 = 552$  т/сут. и для пшеницы  $G_z = 87 \cdot 4 = 348$  т/сут. Учитывая, что кукурузный замес при разваривании нагревается от  $t_n = 40$  °С до  $t_k = 145$  °С, а пшеничный от  $t_n = 40$  °С до  $t_k = 138$  °С, то количество требуемой для этого теплоты  $Q$  составит

$$Q = G_z C (t_k - t_n), \quad (5)$$

где  $C$  – теплоемкость замеса, Дж/(кг·К).

$C$  вычислена по правилу аддитивности при гидромодуле вода-зерно 3:1, равная для кукурузного замеса 3420 Дж/(кг·К), для пшеничного – 3800 Дж/(кг·К) [15].

Поскольку время разваривания влияет только на потери теплоты, были определены потери теплоты в случае разваривания замеса при размере частиц 1 мм. Они оказались равными при разваривании кукурузы 19,82 ГДж/сут., пшеницы 12,96 ГДж/сут. Величина потерь теплоты при других размерах частиц вычислена пропорционально времени разваривания. Затраты теплоты в стоимостном выражении найдены при цене 1 ГДж, равной 120 руб. Стоимость электроэнергии определена из

расчета 500 руб. за 1 ГДж. Общие затраты вычислены как сумма затрат на дробление и потери теплоты (таблицы 9 и 10). Зависимость суммарных энергозатрат от размера частиц крупки представлена на рисунках 7 и 8.

Таблица 9

Наименование	Размер частицы кукурузной крупки, мм						
	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
Время разваривания, мин	20	45,71	80	125	176	245	312
Степень измельчения, $\lambda$	14,0	9,33	7,0	5,6	4,67	4,0	3,5
Удельная работа измельчения, $A_{изм}$ , кДж/кг	145,26	101,59	78,42	63,73	53,42	45,67	39,59
Мощность на дробление, кВт	232,42	162,54	125,47	101,97	85,47	73,07	63,34
Мощность на дробление, ГДж/сут.	20,08	14,04	10,84	8,81	7,38	6,31	5,47
Стоимость электроэнергии, руб./сут. (500 руб. за 1 ГДж)	10040	7020	5420	4405	3690	3155	2735
Потери теплоты, ГДж/сут.	4,96	11,32	19,82	30,97	43,60	60,70	77,30
Потери теплоты, руб./сут. (120 руб. за 1 ГДж пара)	595	1358	2378	3716	5232	7284	9276
Сумма затрат, руб./сут.	10635	8378	7798	8121	8922	10439	12011

Таблица 10

Наименование	Размер частицы пшеничной крупки, мм						
	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
Время разваривания, мин	21,9	46	80	123,2	176,8	240	312
Степень измельчения, $\lambda$	7,6	5,07	3,8	3,04	2,53	2,17	1,9
Удельная работа измельчения, $A_{изм}$ , кДж/кг	84,51	57,90	43,27	33,70	26,80	21,49	17,24
Мощность на дробление, кВт	84,51	57,90	43,27	33,70	26,80	21,49	17,24
Мощность на дробление, ГДж/сут.	7,30	5,00	3,74	2,91	2,32	1,86	1,49
Стоимость электроэнергии, руб./сут. (500 руб. за 1 ГДж)	3650	2500	1870	1455	1160	930	745
Потери теплоты, ГДж/сут.	3,55	7,45	12,96	19,96	28,64	38,88	50,54
Потери теплоты, руб./сут. (120 руб. за 1 ГДж пара)	426	894	1555	2395	3437	4666	6065
Сумма затрат, руб./сут.	4076	3394	3425	3850	4598	5596	6810

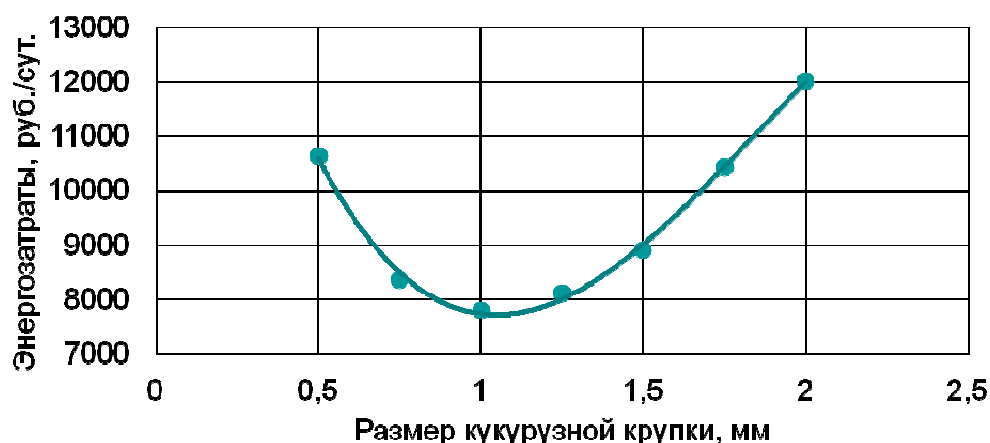


Рисунок 7 – Зависимость суммарных энергозатрат от размера частиц кукурузной крупки

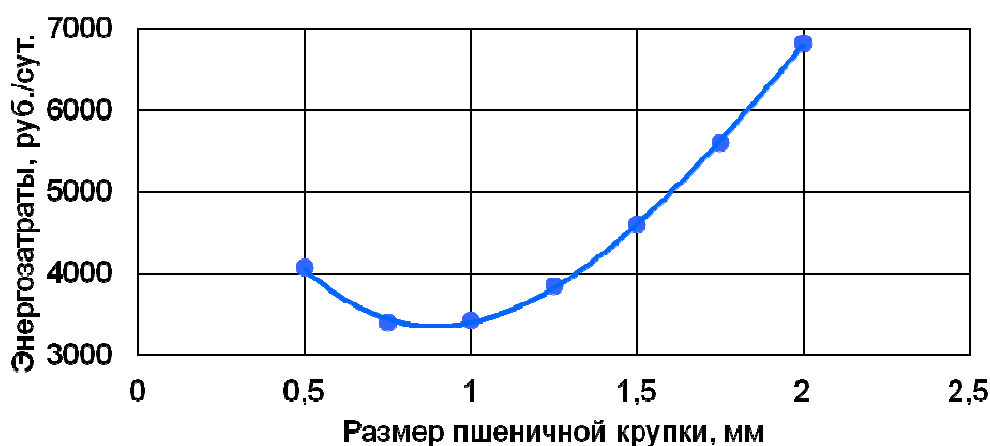


Рисунок 8 – Зависимость суммарных энергозатрат от размера частиц пшеничной крупки

Из рисунков 7 и 8 видно, что оптимум по энергозатратам как при переработке кукурузы, так и пшеницы находится в районе размера частиц крупки, равного 1 мм.

#### Список литературы

1. Константинов Е.Н., Короткова Т.Г., Ксандопуло С.Ю., Черепов С.В. Разработка модели разваривания зернового замеса // Вестник ВГУИТ, 2014. № 1. С. 40-46.
2. Константинов Е.Н., Ксандопуло С.Ю., Короткова Т.Г., Черепов С.В., Кривова О.А. Математическое моделирование разваривания кукурузной крупки и ректификации

бразжки // Научные труды КубГТУ. 2014. № 1. NTK\_001\_000\_00009.pdf <http://ntk.kubstu.ru/tocs/1>.

3. Черепов С.В. Экспериментальное исследование диффузии при ферментативном разваривании пшеничной крупки / Черепов С.В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №05(099). – IDA [article ID]: 0991405024. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/24.pdf>

4. Черепов С.В., Короткова Т.Г., Мариненко О.В., Солонникова Н.В. Моделирование нестационарной диффузии при разваривании зерновой крупки методом сеток и на базе аналитических решений // Известия вузов. Пищевая технология, 2014. – № 2-3 – С. 113-116.

5. Определение модуля помола и степени измельчения зерна <http://kalxoz.ru/str/12drobilki2.htm>

6. Ruiz-Gutiérrez M.G., Quintero-Ramos A., Meléndez-Pizarro C.O., Lardizábal-Gutiérrez D., Barnard J., Márquez-Melendez R., Talamás-Abbud R. Changes in mass transfer, thermal and physicochemical properties during nixtamalization of corn with and without agitation at different temperatures // Journal of Food Engineering 98 (2010) 76–83

7. Кукуруза [http://www.hqoboi.com/food\\_058\\_kukuruza\\_foto.html](http://www.hqoboi.com/food_058_kukuruza_foto.html)

8. Как прорастить живое зерно – пшеницу и рожь? [http://www.t2012.ru/blog/kak\\_sdelat\\_vkusnyj\\_kvas\\_i\\_prorasti\\_zerno/2011-06-03-5543](http://www.t2012.ru/blog/kak_sdelat_vkusnyj_kvas_i_prorasti_zerno/2011-06-03-5543)

9. Муравьев И.В., Сухова О.В., Юдин К.И. Принцип «золотого сечения» при расчете геометрических показателей в оологических исследованиях // Известия ПГПУ, 2008. № 6 (10). С.194-199. <http://cyberleninka.ru/article/n/printsip-zolotogo-secheniya-pri-raschete-geometricheskih-pokazateley-v-oologicheskikh-issledovaniyah>

10. Эллипсоид. Неравносторонний эллипсоид <http://planetcalc.ru/149/>

11. Пипилюк В.Л. Технология хранения зерна и семян: Вузовский учебник, 2009. 457 с.

12. Андреев Н.Р., Карпов В.Г. Структура, химический состав и технологические признаки основных видов крахмалсодержащего сырья // Хранение и переработка сельхозсырья, 1999. № 7. С. 30-33.

13. Крикунова Л.Н., Кузьменкова Н.М., Гернет М.В. Исследование процесса предобработки зерна кукурузы на основе метода гидротермической обработки // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 4. <http://www.kemtip.ru/stories/divisions/arkhiv/23/10.pdf>

14. Несоложеное сырье <http://best-pivo.ru/nesolo.html>

15. Удельная теплоемкость зерна (часть 1) <http://girls4gилrs.ru/svoystva-zerna/2351-udelnaya-teploemkost-zerna-chast-1.html>

## References

1. Konstantinov E.N., Korotkova T.G., Ksandopulo S.Ju., Cherepov S.V. Razrabotka modeli razvarivaniya zernovogo zamesa // Vestnik VGUIT, 2014. № 1. S. 40-46.

2. Konstantinov E.N., Ksandopulo S.Ju., Korotkova T.G., Cherepov S.V., Krivova O.A. Matematicheskoe modelirovanie razvarivaniya kukuruznoj krupki i rektifikacii brazhki // Nauchnye trudy KubGTU. 2014. № 1. NTK\_001\_000\_00009.pdf <http://ntk.kubstu.ru/tocs/1>.

3. Cherepov S.V. Jeksperimental'noe issledovanie diffuzii pri fermentativnom razvarivanii pshenichnoj krupki / Cherepov S.V. // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №05(099). – IDA [article ID]: 0991405024. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/24.pdf>

4. Cherepov S.V., Korotkova T.G., Marinenko O.V., Solonnikova N.V. Modelirovanie nestacionarnoj diffuzii pri razvarivanii zernovoj krupki metodom setok i na baze analiticheskikh reshenij // Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija, 2014. – № 2-3 – S. 113-116.
5. Opređenje modula pomola i stepeni izmel'čeniya zerna <http://kalxoz.ru/str/12drobilki2.htm>
6. Ruiz-Gutiérrez M.G., Quintero-Ramos A., Meléndez-Pizarro C.O., Lardizábal-Gutiérrez D., Barnard J., Márquez-Melendez R., Talamás-Abbud R. Changes in mass transfer, thermal and physicochemical properties during nixtamalization of corn with and without agitation at different temperatures // Journal of Food Engineering 98 (2010) 76–83
7. Kukuza [http://www.hqoboi.com/food\\_058\\_kukuza\\_foto.html](http://www.hqoboi.com/food_058_kukuza_foto.html)
8. Kak prorastit' zhivoje zerno – pshenicu i rozh'? [http://www.t2012.ru/blog/kak\\_sdelat\\_vkusnyj\\_kvas\\_i\\_prorasti\\_zerno/2011-06-03-5543](http://www.t2012.ru/blog/kak_sdelat_vkusnyj_kvas_i_prorasti_zerno/2011-06-03-5543)
9. Murav'ev I.V., Suhova O.V., Judin K.I. Princip «zolotogo secheniya» pri raschete geometricheskikh pokazatelej v oologicheskikh issledovaniyah // Izvestija PGPU, 2008. № 6 (10). S.194-199. <http://cyberleninka.ru/article/n/printsip-zolotogo-secheniya-pri-raschete-geometricheskikh-pokazatelej-v-oologicheskikh-issledovaniyah>
10. Jellipsoid. Neravnostoronnij jellipsoid <http://planetcalc.ru/149/>
11. Pipiljuk V.L. Tehnologija hraneniya zerna i semjan: Vuzovskij uchebnik, 2009. 457 s.
12. Andreev N.R., Karpov V.G. Struktura, himicheskij sostav i tehnologicheskie priznaki osnovnyh vidov krahmsoderzhashhego syr'ja // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja, 1999. № 7. S. 30-33.
13. Krikunova L.N., Kuz'menkova N.M., Gernet M.V. Issledovanie processa predobrabotki zerna kukuruzy na osnove metoda gidrotermicheskoj obrabotki // Tehnika i tehnologija pishhevyyh proizvodstv. 2011. № 4. <http://www.kemtipp.ru/stories/divisions/arkhiv/23/10.pdf>
14. Nesolozhenoe syr'e <http://best-pivo.ru/nesolo.html>
15. Udel'naja teploemkost' zerna (chast' 1) <http://girls4girls.ru/svoystva-zerna/2351-udelnaya-teploemkost-zerna-chast-1.html>