

Джусупбеков Улукбек Назимович, магистрант
Калмыцкий государственный университет
имени Б.Б. Городовикова

Сиссоко Дугакоро, магистрант
Калмыцкий государственный университет
имени Б.Б. Городовикова

Майга Алассане, магистрант
Калмыцкий государственный университет
имени Б.Б. Городовикова

Научный руководитель:
Лебедев Анатолий Тимофеевич
доктор технических наук, профессор
Калмыцкий государственный университет
имени Б.Б. Городовикова

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧЁННОЙ КУКУРУЗЫ ДЛЯ КОРМЛЕНИЯ ЖИВОТНЫХ

Аннотация. В данной работе представлено экспериментальное исследование гранулометрического распределения зёрен кукурузы, измельчённых в течение 1 минуты. Методом ситового анализа с использованием сит 560, 300, 250 и 180 мкм получено фракционное распределение частиц. Рассчитана средняя масса одного зерна (263 мг) и определён средний диаметр частиц (0,53 мм). Построены гранулометрические и кумулятивные кривые.

Ключевые слова: Кукуруза, измельчение, ситовой анализ, гранулометрический состав, средний диаметр частиц, оптимизация.

В ходе данного экспериментального исследования использовалось следующее лабораторное оборудование: **Лабораторные весы DEMCOM DL-1002** (Рисунок 1). Характеристики: Максимальная нагрузка – 1,1 кг., минимальная нагрузка – 0,5 г., дискретность – 0,01 г., класс точности – (II) высокий, калибровка – внешняя, размер платформы – Ø 130 мм., дисплей – жидкокристаллический, интерфейс – RS-232C, питание – DC 6V, габариты – 270x195x265 мм, масса – 15 кг.

Мельница лабораторная Stegler LM-1000 (Рисунок 2-а, б). Характеристики: Максимальная вместимость – 1000 г., частота вращения – 25000 об/мин, питание – 220/50 В/Гц, мощность – 3000 Вт, габариты – 255x230x370 мм, масса – 7,5 кг.



Рис. 1.



Рис. 2.

Рассеиватель лабораторный универсальный РЛ-3 (Рисунок 3-а). Характеристики: Частота колебания – $200 \pm 10\%$ об/мин, амплитуда колебания – 25 мм., мощность – 100 Вт, габариты – 540x560x198 мм., длина стоек – 300 мм., масса, без сит – не более 35 кг., допустимое время непрерывной работы – не более 10 ч.

Сито лабораторное СЛК-200 (рисунок 3-б). Характеристики: наружный диаметр – 220 мм., высота внутри обечайки – 48 мм., внутренний диаметр обечайки – 200 мм., высота – 50 мм., масса – не более 5 кг.

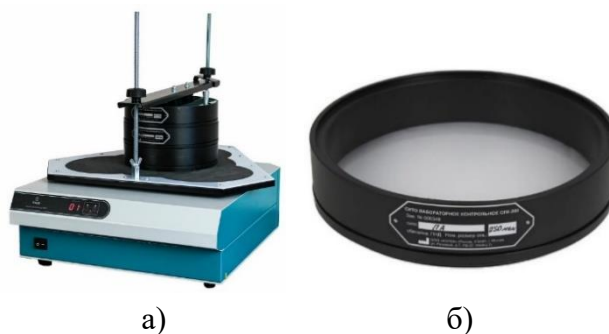


Рис. 3.

Введение

Кукуруза (*Zea mays* L.) является одной из важнейших зерновых культур в мире, представляя собой основной источник энергии и питательных веществ в кормлении животных. Её переработка путём измельчения представляет собой критический этап в производственной цепи кормов, так как напрямую влияет на эффективность пищеварения и степень усвоения питательных веществ животными [1]. Гранулометрический состав кормов играет фундаментальную роль в зоотехнических показателях. Слишком крупный размер частиц уменьшает поверхность воздействия пищеварительных ферментов, ограничивая перевариваемость крахмала и белков. И наоборот, чрезмерно тонкое измельчение может привести к патологическим проблемам у животных (язвы, ацидоз) и увеличить энергетические затраты на производство [2]. Цель данной работы - изучить поведение кукурузы после минутного измельчения, определить её гранулометрический состав, рассчитать среднюю массу одного зерна и оценить соответствие полученного продукта рекомендациям для кормления животных.

Материалы и методика

Объектом исследования служил образец зёрен кукурузы начальной массой 100,00 г. Среднее количество зёрен в 100 г было определено путём трёх подсчётов: 375, 388 и 378 зёрен, что в среднем составляет 380 зёрен. Таким образом, средняя масса одного зерна равна 263 мг, что характерно для сортов кукурузы, выращиваемых в регионе.

Методика эксперимента

Первичное взвешивание и измельчение
Сначала 100,00 г кукурузы были взвешены на весах DEMCOM (Рисунок 4).



Рис. 4

Затем образец был помещён в мельницу Stegler LM-1000 и измельчался в течение 1 минуты (Рисунок 5)	
После измельчения порошок был извлечён (Рисунок 6) и снова взвешен.	
Конечная масса составила 97,50 г (Рисунок 7), что соответствует видимой потере 2,5 %.	

Рис. 5

Рис. 6

Рис. 7

Гранулометрический анализ методом просеивания

Полученный порошок был помещён в рассев TAGLER RL-Z на 1 минуту. Продолжительность просеивания была выбрана для обеспечения полного разделения частиц без дополнительного истирания. Колонка сит состояла из следующих ячеек: 560 мкм, 300 мкм, 250 мкм, 180 мкм и поддон (0 мкм) (Рисунок 5). После просеивания каждая фракция, задержанная на сите, была тщательно собрана и взвешена (Рисунок 6). Общая масса всех фракций составила 95,51 г, что на 1,99 г меньше массы после измельчения и объясняется потерями при многократных операциях переноса между ситами и ёмкостями для взвешивания.

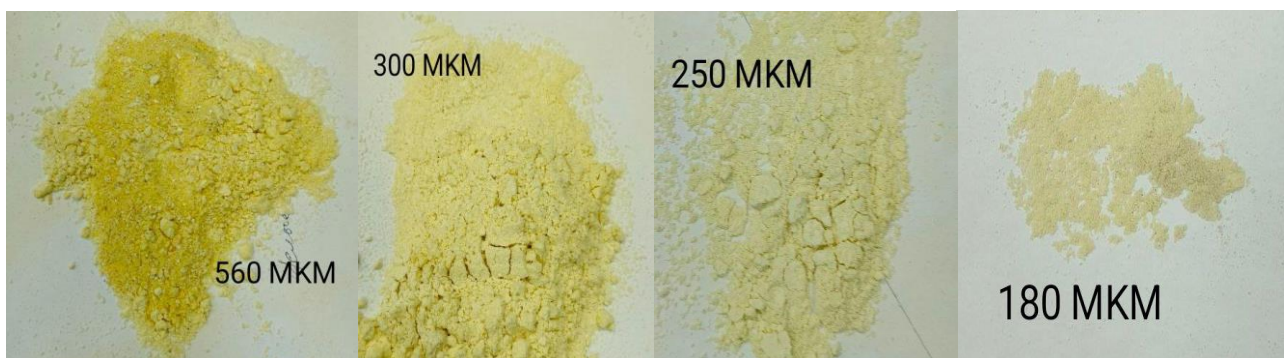


Рис. 8

Рис. 9

Рис. 10

Рис. 11

Извлечение и взвешивание фракций. 1) Фракция 560 мкм, 2) Фракция 300 мкм, 3) Фракция 250 мкм, 4) Фракция 180 мкм.

Таблица 1

Результаты гранулометрического анализа молотой кукурузы (помол 1 минута)

	560 мкм		300 мкм	
	Вес, гр	Вес, %	Вес, гр	Вес, %
1 минута	31,05	32,510	56,4	59,051
40 секунд	45,39	46,368	37,57	38,380
20 секунд	25,81	26,399	49,14	50,261

Продолжение таблицы 1

250 мкм		180 мкм		0 мкм		Итого
Вес, гр	Вес, %	Вес, гр	Вес, %	Вес, гр	Вес, %	
7,53	7,884	0,53	0,555	0	0,000	95,51
10,36	10,583	4,17	4,260	0,15	0,153	97,89
20,76	21,234	2,03	2,076	0,03	0,031	97,77

Определение среднего диаметра частиц

Средневзвешенный диаметр частиц (M_{cp} , мм.) рассчитывали по стандартной методике по формуле:

$$M_{cp} = \frac{\sum(d_i * m_i)}{\sum m_i},$$

где d_i – средний арифметический размер между соседними ситами (для фракции 560-300 мм. $d = (560+300)/2=430$ мкм), m_i – массовая доля данной фракции в %. Результаты ситового анализа представлены в Таблице 1. Анализ данных подтвердил значимое влияние времени помола на распределение частиц по фракциям.

Средний диаметр частиц:

1 минута

$$M_{cp} = \frac{(0,75 * 31,05) + (0,4 * 56,4)}{95,51} + \frac{(0,28 * 7,53) + (0,22 * 0,53) + (0,09 * 0)}{95,51}$$

= 0,50 мм

40 секунд

$$M_{cp} = \frac{(0,75 * 45,39) + (0,4 * 37,57)}{97,89} + \frac{(0,28 * 10,36) + (0,22 * 4,17) + (0,09 * 0,15)}{97,89}$$

= 0,54 мм

20 секунд

$$M_{cp} = \frac{(0,75 * 25,81) + (0,4 * 49,14)}{97,77} + \frac{(0,28 * 20,76) + (0,22 * 2,03) + (0,09 * 0,03)}{97,77}$$

= 0,46 мм

Проведённые исследования показали, что продолжительность помола является значимым фактором, определяющим гранулометрический состав продукта дробления семян кукурузы. Установлена нелинейная зависимость среднего диаметра частиц от времени обработки, что необходимо учитывать при проектировании и настройке технологического



оборудования. Для достижения целевого фракционного состава рекомендуется проведение предварительных технологических испытаний. Полученные данные вносят вклад в совершенствование ресурсосберегающих технологий переработки кукурузы.

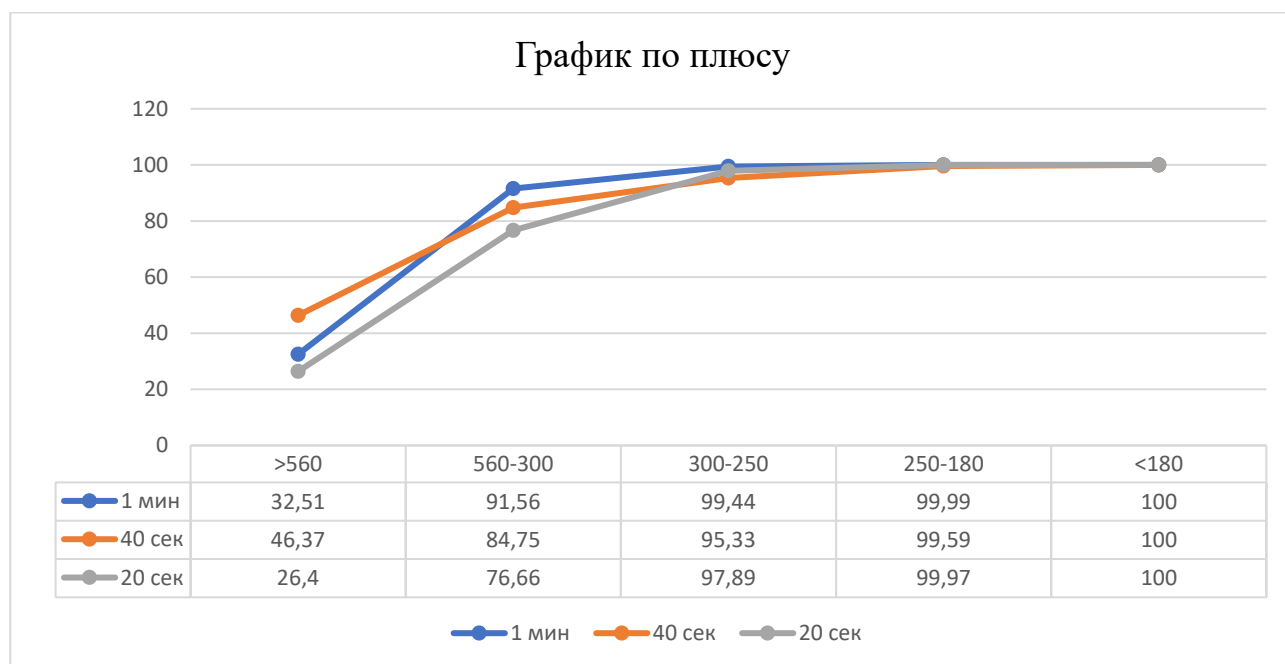


Рис. 12

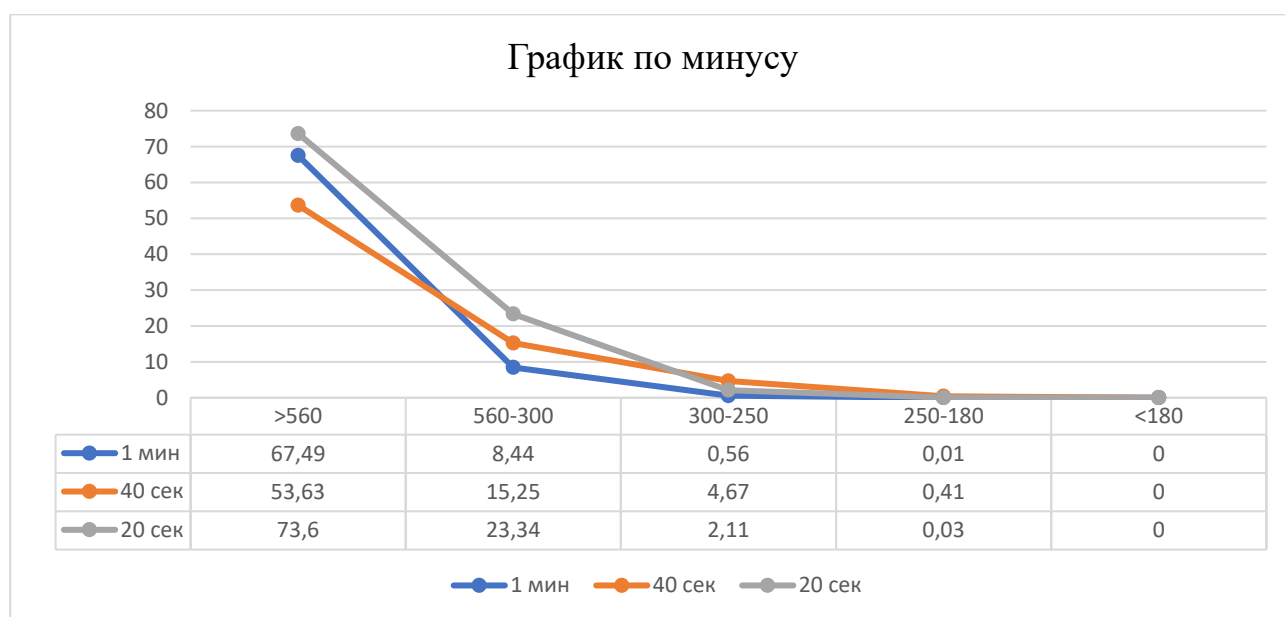


Рис. 13

На основе этих результатов можно сформулировать несколько рекомендаций: 1. Для кормления взрослых жвачных: Время помола немного меньше 1 минуты (45-50 секунд) позволило бы получить средний диаметр ближе к 600-650 мкм, считающемуся оптимальным для этой категории; 2. Для молодняка: Помол в течение одной минуты хорошо подходит, так как телята и ягнята требуют более мелких частиц для облегчения пищевого перехода; 3. Для моногастричных: Промежуточное время помола (50-55 секунд) было бы предпочтительнее для нахождения в зоне 550-600 мкм; 4. Контроль качества: Доля мелких частиц (<250 мкм) должна контролироваться и поддерживаться ниже 10 % для предотвращения рисков для здоровья.

Вывод

Данное экспериментальное исследование позволило точно охарактеризовать гранулометрический состав образца кукурузы, измельчённой в течение 1 минуты. Полученный продукт имеет относительно мелкий, но однородный гранулометрический состав с умеренной долей потенциально проблемных частиц. Для использования в кормлении животных этот тип помола особенно подойдёт для молодняка или рационов, требующих высокой перевариваемости. Для взрослых животных корректировка времени помола в сторону уменьшения (45-50 секунд) позволила бы достичь гранулометрического диапазона, считающегося оптимальным по данным специальной литературы.

Список литературы:

1. Иванов, А.И. Технология переработки зерна кукурузы / А.И. Иванов, В.П. Сидоров. - М. : КолосС, 2020. -- 328 с.
2. Smith, J. The impact of particle size on the nutritional value of corn in animal feed / J. Smith, K. Brown // Journal of Animal Science. -- 2021. -- Vol. 99(5). -- P. 45-52.
3. Петров, С.С. Оптимизация параметров измельчения для кормления животных / С.С. Петров // Пищевая промышленность. -- 2022. -- № 3. -- С. 28-34.

