

## ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АПК TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGROINDUSTRIAL COMPLEX

Научная статья

УДК 631.363.25

doi: 10.34655/bgsha.2023.72.3.015

### ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕЙ МАШИНЫ

**А.К. Апажев<sup>1</sup>, Ю.А. Шекихачев<sup>2</sup>, Р.А. Балкаров<sup>3</sup>, А.Г. Фиापшев<sup>4</sup>, Л.З. Шекихачева<sup>5</sup>**

<sup>1-5</sup>Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия

<sup>1</sup>kbr.apagev@yandex.ru

<sup>2</sup>shek-fmep@mail.ru

<sup>3</sup>rus.balkarov.52@mail.ru

<sup>4</sup>energo.kbr@rambler.ru

<sup>5</sup>sh-ludmila-z@mail.ru

**Аннотация.** В фермерских и личных подсобных хозяйствах используют самые разнообразные корма, переработка которых требует применения нескольких специальных измельчителей (зерна, корнеклубнеплодов, соломы, пищевых отходов). Ограниченность видов перерабатываемых кормов является одним из недостатков специальных измельчителей, так как в настоящее время процесс приготовления кормов необходимо организовать с учетом многообразия их видов и свойств, принимая во внимание также отличительные особенности технологий приготовления. Анализ результатов исследований эффективности измельчения кормов, конструкций измельчающих машин, теоретических и экспериментальных исследований по измельчению кормовой массы показал наличие многочисленных недостатков. Следовательно, обоснование основных параметров и режимов работы измельчающей машины, работающей по способу скалывания и резания, является актуальной задачей. Обоснована конструктивно-технологическая схема измельчающей машины. Предлагаемая универсальная измельчающая машина может обеспечить равномерность распределения частиц измельченного сырья до 70%. Разработана математическая модель, описывающая свойства движения массы частицы в канале рабочего тела, реализация которой позволила установить основные параметры и режимы работы предлагаемой измельчающей машины: частота вращения ротора  $366 \text{ с}^{-1}$ ; окружная скорость 25,6 м/с; ширина канала 3...4 мм; поперечная площадь сечения пазов рабочих органов 0,0042...0,0069 м<sup>2</sup>; производительность 0,1...3 т/ч.

**Ключевые слова:** корма, измельчение, питательные вещества, измельчитель, параметры, режимы работы, производительность.

Original article

## JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS AND MODES OF OPERATION OF THE UNIVERSAL GRINDING MACHINE

**Aslan K. Apazhev<sup>1</sup>, Yuri A. Shekikhachev<sup>2</sup>, Ruslan A. Balkarov<sup>3</sup>, Amur G. Fiapshev<sup>4</sup>,  
Lyudmila Z. Shekikhacheva<sup>5</sup>**

<sup>1-5</sup>Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.I. V.M. Kokova, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia

<sup>1</sup>kbr.apagev@yandex.ru

<sup>2</sup>shek-fmep@mail.ru

<sup>3</sup>rus.balkarov.52@mail.ru

<sup>4</sup>energo.kbr@rambler.ru

<sup>5</sup>sh-ludmila-z@mail.ru

**Abstract.** *A wide variety of feeds is used in farms and private farms, the processing of which requires the use of several special grinders (for grain, root crops, straw, food wastes). The limited types of processed feed is one of the disadvantages of special grinders, since, at present, the process of preparing feed must be organized taking into account the diversity of their types and properties, taking into account the distinctive features of cooking techniques. Analysis of the results of research on the efficiency of feed grinding, designs of grinding machines, theoretical and experimental studies on grinding the feed mass showed the presence of numerous shortcomings. Therefore, the justification of the main parameters and modes of operation of a grinding machine operating according to the chipping and cutting method is an urgent task. In the article, the structural and technological scheme of the grinding machine is defended. The proposed universal grinding machine can ensure uniformity of particles of ground food raw materials up to 70%. A mathematical model describing the properties of the particle mass movement in the channel of the working body has been developed, its implementation allows to establish the main parameters and operating modes of the proposed grinding machine: rotor speed equals to  $366\text{ s}^{-1}$ ; circumferential speed is  $25.6\text{ m/s}$ ; channel width is  $3\text{...}4\text{ mm}$ ; the cross-sectional area of the grooves of the working bodies is  $0.0042\text{...}0.0069\text{ m}^2$ ; productivity reaches  $0.1\text{...}3\text{ t/h}$ .*

**Keywords:** feed, grinding, nutrients, cutter, parameters, operating modes, productivity.

**Введение.** Животноводство является основной отраслью агропромышленного комплекса, которая обеспечивает население продуктами питания, дает сырье для перерабатывающей отрасли в сочетании с растениеводством, образует замкнутую гармоничную биотехническую систему.

Уменьшение поголовья животных и птицы, понижение их продуктивности и характеристик воспроизводства привели к уменьшению производства всех видов животноводческой продукции и понижению их потребления популяцией.

Главные причины этого – неудовлетворительный по количеству и качеству уровень кормопроизводства и кормообеспечения отрасли; сокращение производственного потенциала; устаревшие

производственные животноводческие помещения и сооружения, машины и технологическое оборудование и пр.

Сокращение поголовья скота приводит к резкому снижению плодородия почв из-за уменьшения внесения органических удобрений, что приводит к снижению урожайности и валовых сборов как продовольственных, так и кормовых культур.

В условиях хозяйства кормление – производственный процесс, обеспечивающий питание животных за счет использования кормов. Рационы должны быть сбалансированы примерно по 20 четко нормированным показателям для крупного рогатого скота (КРС) и 50...80 показателям для свиней и птицы. Количество контролируемых показателей растет по мере повышения уровня интенсификации

животноводства. Корма не должны быть загрязнены почвой, горюче-смазочными материалами, радиоактивными элементами, не содержать посторонних включений (особенно металлических), иметь допустимое содержание нитратов и нитритов. В кормах не должно быть биологических или химических препаратов, которые, попадая в организм человека с продуктами питания, оказывали бы вредное влияние на здоровье, например, стимуляторов роста.

Таким образом, производство продукции животноводства – сложная биотехническая система, в которой животное является основным средством производства, перерабатывающим биологическим путем корм в высокоценные продукты питания.

Технология и техника кормления животных – это обеспечение каждого животного в течение суток определенным количеством кормов заданного состава, способствующего превращению процессов пищеварения в устойчивую биологическую систему с оптимальными режимами функционирования. Соблюдение этой технологии требует скармливать корма в виде полнорационных сбалансированных по многим параметрам кормовых смесей, в результате чего возможно обеспечить лучшее поедание; полное и быстрое усвоение; уменьшение затрат на приготовление и раздачу кормов; унификацию средств для приготовления и раздачи кормов; балансировку рациона по многим показателям; уменьшение затрат труда; улучшение условий труда и др.

Новые машины и оборудование влияют на усовершенствование технологий содержания животных, упрощают их, уменьшают расход ресурсов на их выполнение, улучшают использование генетического потенциала.

Разработка эффективных кормовых измельчающих машин (дробилок) позволяет снизить потребление удельной энергии и металлов при одновременном получении качественной готовой продукции [1-3].

Самой распространенной измельчающей машиной, используемой в аграрном

комплексе для измельчения кормовой зерновой массы, является молотковая дробилка, имеющая некоторые недостатки: это большое энергетическое потребление (20...25 кВт·ч/т) на измельчение; значительная металлоёмкость конструкций; низкая производительность; неравномерное распределение частиц по размерам полученного продукта с высокой долей пыли 25% и общим содержанием необработанных зерен 1% и более.

Анализ результатов исследований эффективности измельчения кормов, конструкций измельчающих машин, теоретических и экспериментальных исследований по измельчению кормовой массы [4-12] показал, что:

- наиболее подходящими методами измельчения с точки зрения энергоемкости и улучшения качества измельчения являются резка и дробление;

- измельчение зернового материала до оптимального гранулометрического состава сокращает время кормления, позволяет уменьшить потребление корма, повысить усвояемость продукта.

В связи с изложенным, обоснование основных параметров и режимов работы измельчающей машины, работающей по способу скалывания и резания, является актуальной задачей.

**Условия, объекты и методы исследований.** Объект исследования – универсальная измельчающая машина (УИМ). Методы исследования: исследования базируются на результатах анализа конструктивных особенностей технических средств для измельчения кормов. При проведении исследований использованы методы математического моделирования и математической статистики.

**Результаты исследований и их обсуждения.** Измельчение кормовой зерновой массы – это, в основном, трудоемкая техническая задача, выполняемая молотковыми дробилками, характеризующимися большой энергоемкостью и низким качеством получаемой продукции.

Поскольку усовершенствование молотковой дробилки невозможно, актуальной задачей является разработка измель-

чающей машины, которая работает по принципу «резки и скалывания» с низким энергопотреблением для достижения требуемого качества готового продукта.

Эффективность кормления с использованием кормов, обработанных с помощью необходимого помольного модуля, во многом определяется повышенной продуктивностью коров, увеличением суточного прироста во время откорма, 1 т первичного жирного молока, 1 т мяса и другими техническими факторами, что приводит к увеличению продукции животноводства.

Разработанная УИМ (рис. 1) может обеспечить равномерность распределения частиц измельченного сырья до 70%.

Конструктивной особенностью разработанной УИМ является то, что противорежущий элемент 7 выполнен в виде металлической пластины, имеющей П-образные впадины, а режущий элемент 3 – в виде металлической пластины, имеющей Т-образные выступы. Измельчаемый материал попадает из приемного бункера 8 в камеру 1 и измельчается за счет взаимодействия режущих граней рабочих органов 3 ротора и противорежущих граней элементов 7, закрепленных на корпусе, и частично за счет удара о деку 5.

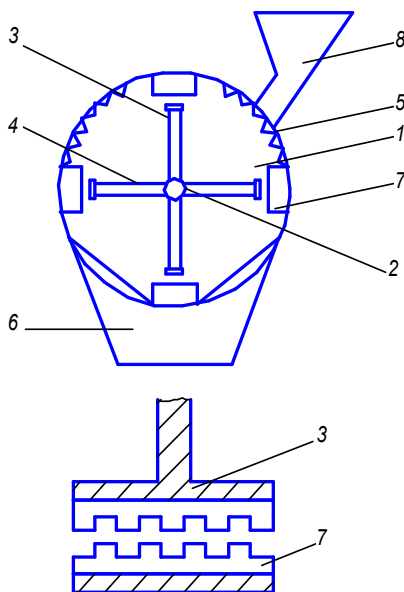


Рисунок 1. Схема УИМ:  
1 – камера измельчения; 2 – ротор;  
3 – режущий элемент; 4 – кронштейн;  
5 – дека; 6 – выходная горловина;  
7 – противорежущий элемент;  
8 – приемный бункер

В процессе работы измельчающей машины в момент входа измельчаемого материала в зону первой стадии дробления происходит накопление кинетической энергии:

$$T_1 = \frac{mV_1^2}{2}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса измельчаемого материала, кг;

$V_1$  – скорость измельчаемого материала в момент входа в зону измельчения, м/с.

Для нахождения дисперсии массы частиц после первого этапа резания запишем:

$$T_2 - T_1 = nA_p, \quad (2)$$

где  $A_p$  – работа силы резания, Дж;

$n$  – количество контактов измельчаемого материала с режущими элементами, шт.

При  $T_2 = 0$ :

$$n = \frac{T_1}{A_p} = \frac{mV_1^2}{2A_p}. \quad (3)$$

При  $m_n = m/n$  имеем:

$$i = \frac{m_n V_1^2}{2A_p^{(1)}}; \quad (4)$$

$$A_p^{(1)} = \frac{A_p}{n}; \quad (5)$$

$$i = \frac{mV_2^2}{2A_p}. \quad (6)$$

Величина степени измельчения определится по зависимости:

$$\lambda = in = \frac{m^2 V_1^2 V_2^2}{2A_p^2}, \quad (7)$$

где  $V_2$  – скорость, с которой частица измельчаемого материала входит во вторую зону измельчения, м/с.

На первом этапе частицы измельчае-

мого материала движутся от центра к периферии вдоль вращающегося канала диска ротора (рис. 2).

Запишем уравнения относительного движения точки  $m$ :

$$ma_x = \bar{\Phi}_n - \bar{F} - \bar{F}_1 + \bar{\Phi}_k; \quad (8)$$

$$\bar{\Phi}_n = m\omega^2 x; \quad (9)$$

$$\bar{F} = fN = fmg; \quad (10)$$

$$\bar{F}_1 = f_1 N_1 = 2f_1 m \omega V_x^{(2)}; \quad (11)$$

$$\bar{\Phi}_k = 2m\omega V_x^{(1)}, \quad (12)$$

где  $m$  – масса точки, кг;

$a_x$  – ускорение относительного движения, м/с<sup>2</sup>;

$\bar{\Phi}_n$  – переносная сила инерции, Н;

$\bar{F}$  и  $\bar{F}_1$  – силы трения, Н;

$f$  – коэффициент трения измельчаемого материала по материалу диска;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$f_1$  – коэффициент трения измельчаемого материала по материалу диска после первой ступени измельчения;

$\omega$  – частота вращения ротора, с<sup>-1</sup>;

$\bar{\Phi}_k$  – кориолисова сила инерции, Н.

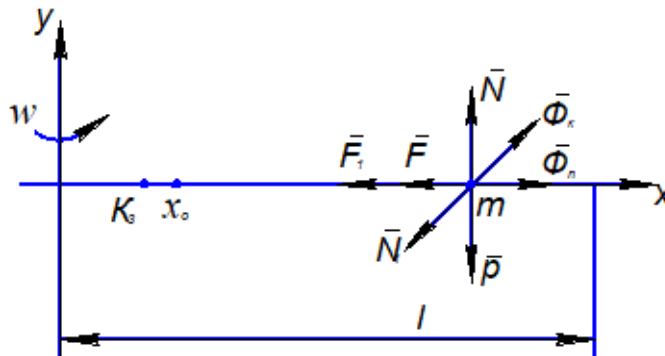


Рисунок 2. Схема к исследованию движения частиц измельчаемого материала в канале рабочего диска на первом этапе

Так как  $a_x^{(2)} = \ddot{x}$ ;  $V_x^{(2)} = \dot{x}$ , имеем:

$$\begin{cases} \ddot{x} + 2f_1\omega\dot{x} - \omega^2 x = -fg \\ t = 0 \\ x(0) = K \\ \dot{x}(0) = 0 \end{cases}, \quad (13)$$

где  $t$  – время движения точки по каналу диска, с;

$K$  – координата точки падения измель-

чаемого материала из бункера,  $K = x_0$ .

При  $x = \ell_1$ ;  $t = \tau/\omega$  ( $\tau$  – время входа в зону резания), имеем:

$$\begin{cases} \frac{d^2\bar{x}}{d\tau^2} + 2f_1 \frac{d\bar{x}}{d\tau} - \bar{x} = -\frac{fg}{\ell_1\omega^2} \\ \bar{x}(0) = \frac{K}{\ell_1} \left( \frac{d\bar{x}}{d\tau} \right)_{\tau=0} = 0 \end{cases}, \quad (14)$$

откуда:

$$\bar{x} = -\frac{fg}{\ell_1\omega^2} + c_1 e^{[-f_1 + \sqrt{1-f_1^2}]\tau} - c_2 e^{[f_1 + \sqrt{1-f_1^2}]\tau}; \quad (15)$$

$$\frac{d\bar{x}}{d\tau} = [\sqrt{1-f_1^2} - f_1]c_1 e^{[\sqrt{1-f_1^2} - f_1]\tau} - [f_1 + \sqrt{1-f_1^2}]c_2 e^{-[f_1 + \sqrt{1-f_1^2}]\tau}, \quad (16)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – постоянные интегрирования, которые рассчитываются по зависимостям:

$$c_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{K}{l_1} - \frac{fg}{l_1 \omega^2} \right) \frac{f_1 + \sqrt{1-f_1^2}}{\sqrt{1-f_1^2}}; \quad (17)$$

$$c_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{K}{l_1} - \frac{fg}{l_1 \omega^2} \right) \frac{\sqrt{1-f_1^2} - f_1}{\sqrt{1-f_1^2}}. \quad (18)$$

Для установления скорости вхождения измельчаемого материала в зону измельчения воспользуемся системой:

$$\begin{cases} \bar{x}(\tau_1) = 1 \\ V_1 = \omega l_1 \left( \frac{d\bar{x}}{d\tau} \right)_{\tau=\tau_1} \end{cases}. \quad (19)$$

Для установления величины  $\tau_1$  для

$$V_1 = \left[ \frac{\left(1 - \frac{fg}{l_1 \omega^2}\right)}{\frac{K}{l_1} - \frac{fg}{l_1 \omega^2}} + \sqrt{1 + \left(\frac{1 - \frac{fg}{l_1 \omega^2}}{\frac{K}{l_1} - \frac{fg}{l_1 \omega^2}}\right)^2} - \frac{1}{\frac{K}{l_1} - \frac{fg}{l_1 \omega^2}} \right] \cdot \frac{1}{\frac{K}{l_1} - \frac{fg}{l_1 \omega^2} + \sqrt{1 + \left(\frac{1 - \frac{fg}{l_1 \omega^2}}{\frac{K}{l_1} - \frac{fg}{l_1 \omega^2}}\right)^2}}. \quad (22)$$

В промежутке движения частицы измельчаемого материала от первой до второй ступени измельчения имеют место следующие зависимости (рис. 3):

$$\frac{d^2 \bar{x}}{d\tau^2} + 2f_1 \frac{d\bar{x}}{d\tau} - \bar{x} = 1 - \frac{fg}{l_2 \omega^2}; \quad (23)$$

$$\bar{x}_0 = 1 - \frac{fg}{l_2 \omega^2}; \quad (24)$$

$$\bar{x}_0 = \left(1 - \frac{fg}{l_1 \omega^2}\right) \frac{1}{2\sqrt{1-f^2}} \left[ \left(f + \sqrt{1-f^2}\right) e^{\left[-f + \sqrt{1-f^2}\right]\tau} + \left(-f + \sqrt{1-f^2}\right) e^{\left[-f + \sqrt{1-f^2}\right]\tau} + 2\sqrt{1-f^2} \right]; \quad (28)$$

конкретных параметров  $K/l_1; fg/(l_1 \omega^2); f_1$  воспользуемся выражением:

$$\frac{2 \left(1 - \frac{fg}{l_1 \omega^2}\right)}{\frac{K}{l_1} - \frac{fg}{l_1 \omega^2}} = e^{\tau_1} + e^{-\tau_1}, \quad (20)$$

откуда

$$\tau_1 = \left[ \frac{\left(1 - \frac{fg}{l_1 \omega^2}\right)}{\frac{K}{l_1} - \frac{fg}{l_1 \omega^2}} + \sqrt{1 + \left(\frac{1 - \frac{fg}{l_1 \omega^2}}{\frac{K}{l_1} - \frac{fg}{l_1 \omega^2}}\right)^2} \right]. \quad (21)$$

Тогда:

$$\bar{x}_0 = -\frac{fg}{l_1 \omega^2} + c_1 e^{\left[-f_1 + \sqrt{1-f_1^2}\right]\tau} + c_2 e^{\left[-f_1 + \sqrt{1-f_1^2}\right]\tau}; \quad (25)$$

$$c_1 = \left(1 - \frac{fg}{l_2 \omega^2}\right) \frac{f + \sqrt{1-f^2}}{2\sqrt{1-f^2}}; \quad (26)$$

$$c_2 = \left(1 - \frac{fg}{l_1 \omega^2}\right) \frac{\sqrt{1-f^2} - f}{\sqrt{1-f^2}}; \quad (27)$$

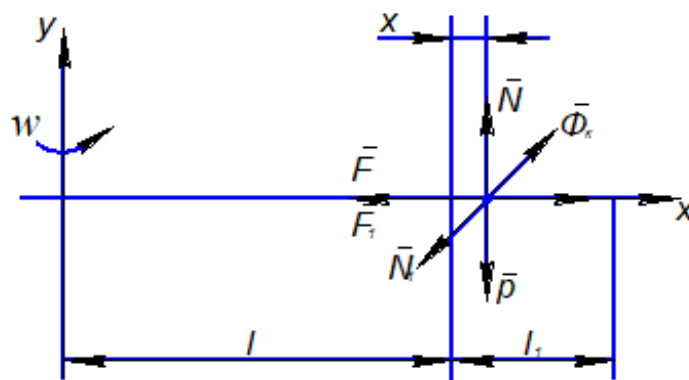


Рисунок 3. Схема к исследованию движения измельчаемого материала в канале рабочего диска от первой до второй ступени измельчения

При  $\bar{x}_0(\tau_2) = l_2/l_1$  имеем:

$$\tau_2 = \ln \left[ \frac{\left(1 - \frac{fg}{l_2 \omega^2}\right)}{\frac{K}{l_2} - \frac{fg}{l_2 \omega^2}} + \sqrt{1 + \left(\frac{1 - \frac{fg}{l_2 \omega^2}}{\frac{K}{l_2} - \frac{fg}{l_2 \omega^2}}\right)^2} \right]. \quad (29)$$

Откуда

$$\left(\frac{d\bar{x}}{d\tau}\right)_{\tau=\tau_2} = \left(1 + \frac{fg}{l_2 \omega^2}\right) \frac{1 - 2f^2}{2\sqrt{1 - f^2}} \left[ e^{[\sqrt{1-f^2}-f]\tau_2} + e^{-[f+\sqrt{1-f^2}]\tau_2} \right]. \quad (30)$$

Скорость  $V_2$  будет равна:

$$V_2 = l_1 \omega \left(\frac{d\bar{x}_0}{d\tau}\right)_{\tau=\tau_2}. \quad (31)$$

Теоретическая производительность УИМ определится по зависимости:

$$Q = 3600 F V_2 \gamma, \quad (32)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения канала ротора, м<sup>2</sup>;

$\gamma$  – объемная масса измельчаемого материала, т/м<sup>3</sup>.

На основании результатов экспериментальных исследований построены зависимости изменения производительности (рис. 4) и вариационные кривые распределения гранулометрического состава готового продукта, полученные на разработанной установке (кривая 1) и на молотковой дробилке (кривая 2) (рис. 5).

На рисунке 5 показана граница между средним и крупным помолом ( $M=1,8$  мм). Предлагаемая конструкция обеспечивает регулировку модуля помола (при производительности 0,1...0,3 т/ч и удельной энергоёмкости 7...11 кВт·ч/т) в пределах 1,3...2,6 мм.

#### Выводы:

1. Обоснована конструктивная схема УИМ.
2. Получены аналитические зависимости, описывающие движение частицы в канале рабочего органа.
3. Установлены основные параметры и режимы работы предлагаемой УИМ: частота вращения ротора 366 с<sup>-1</sup>; окружная скорость 25,6 м/с; ширина канала

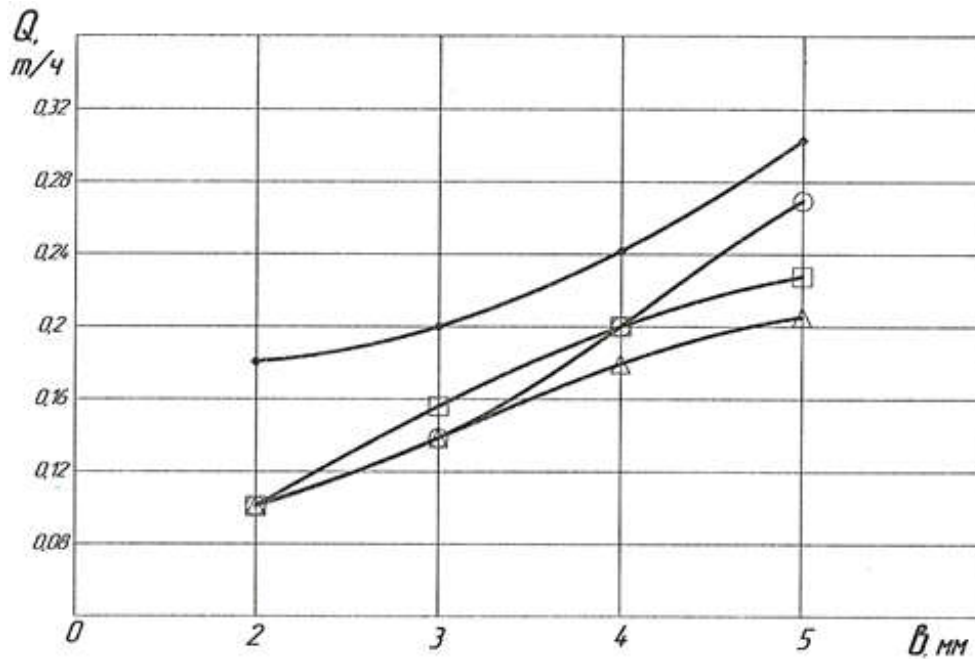


Рисунок 4. Зависимость производительности от ширины пазов кольца:  
 • – пшеница, ○ – ячмень, □ – кукуруза, Δ – горох

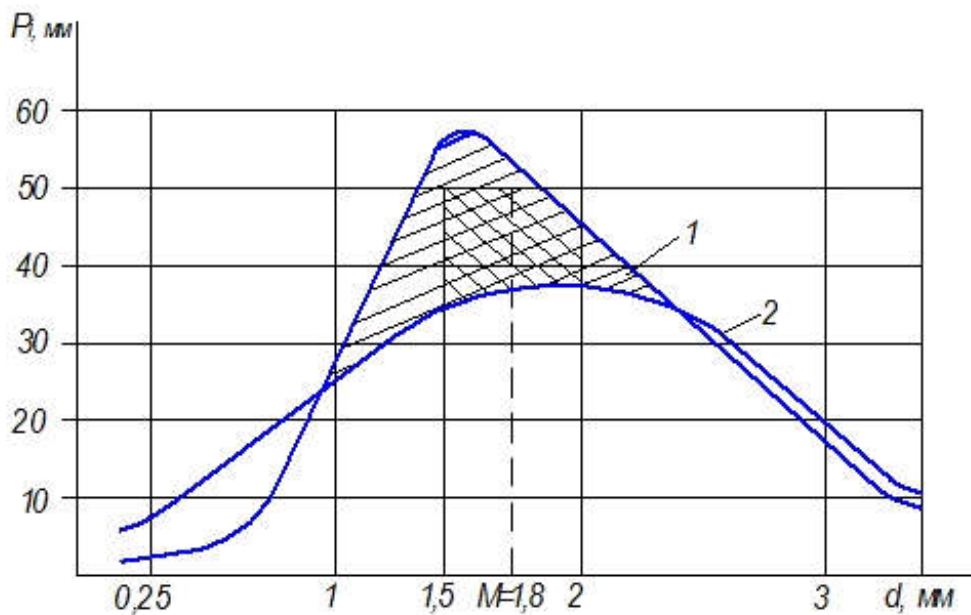


Рисунок 5. Вариационные кривые распределения гранулометрического состава готового продукта при измельчении ячменя ( $P_i$  – массовые выходы, %;  $d$  – диаметр отверстий сит, мм)

3...4 мм; поперечная площадь сечения пазов рабочих органов 0,0042...0,0069 м<sup>2</sup>; производительность 0,1...0,3 т/ч.

#### Список источников

1. Frolov V.Y., Sysoev D.P. The evaluation of efficiency of using technologies for preparation and distribution of fodder at small farms // Research J. of Pharmaceutical,

Biological and Chemical Sciences. 2016. № 7 (1). Pp. 1264–1271. EDN: WPACKP.

2. Frolov V.Y., Sysoev D.P., Tumanova M.I., Sarbatova N.J. Experimental Aspects of Crushing of The Stalk Forage with a Disc Cone Shaped Working Organ with Combined Segments // Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. № 9 (3). Pp. 958–967.

3. Габачиев Д.Т., Хажметов Л.М., Шеки-



хачева Л.З. Оптимизация параметров и режимов работы измельчителя кормов // АгроЭкоИнфо. 2017. № 4 (30). С. 37. EDN: YNGYTU.

4. Tumanova M.I., Kotelevskaya E.A. Theoretical and experimental aspects of studying the disc working body of the feed chopper // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021. S. 42032. EDN: XRISJP.

5. Туманова М.И. К вопросу совершенствования конструкции рабочего органа измельчителя // Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год: материалы юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ; отв. за выпуск А.Г. Коцаев. Краснодар : Кубанский ГАУ, 2022. С. 350-351.

EDN: TDNBLW.

6. Frolov V.Y., Kotelevskaya E.A., Tumanova M.I. Theoretical aspects of the working process of a press extruder with a variable step auger for preparation of concentrated feed // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. P. 52003. EDN: MAFFPG

7. Frolov V.Y., Klasner G.G., Sysoev D.P. Substantiation of design and standard parameters of chopper of soaked grain of leguminous plants (as an example of the soya grain) // Periydico tchк qumica. 2019. № 31. Pp. 258–267. EDN: KGVGPS.

8. Класнер Г.Г., Пашинский В.С. Теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров измельчителя замоченного зерна сои // Уральский научный вестник. 2022. Т. 8. № 3. С. 76-80. EDN: QMUJSM.

9. Габачиев Д.Т., Хажметов Л.М. Определение механической характеристики рабочего механизма измельчителя // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2021. № 3 (33). С. 105-109. EDN: HBNRLK

10. Хажметов Л.М., Габачиев Д.Т. Результаты исследований конструктивно-режимных параметров измельчителя грубых кормов // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета

им. В.М. Кокова. 2020. № 4 (30). С. 79-86. EDN: XCWCEW.

11. Габачиев Д.Т., Хажметов Л.М., Шехихачева Л.З. Математическое моделирование процесса работы измельчителя грубых кормов // АгроЭкоИнфо. 2017. № 2 (28). С. 11. EDN: ZCQUQF.

12. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M., Fiaphev Hazhmetova Z.L., Gabachiyev D.T. Scientific justification of power efficiency of technological process of crushing of forages // Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1399(5). 055002. doi: 10.1088/1742-6596/1399/5/055002. EDN: QFPYEF.

## References

1. Frolov V.Y., Sysoev D.P. The evaluation of efficiency of using technologies for preparation and distribution of fodder at small farms. *Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016;7(1):1264–1271.

2. Frolov V.Y., Sysoev D.P., Tumanova M.I., Sarbatova N.J. Experimental Aspects of Crushing of The Stalk Forage with a Disc ConeShaped Working Organ with Combined Segments. *Research J. of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018;9(3):958–967.

3. Gabachiev D.T., Khazhmetov L.M., Shekikhacheva L.Z. Optimization of parameters and operating modes of the feed chopper. *AgroEcolInfo*. 2017;4(30):37 (In Russ.)

4. Tumanova M.I., Kotelevskaya E.A. Theoretical and experimental aspects of studying the disc working body of the feed chopper // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021. P. 42032.

5. Tumanova M.I. On the issue of improving the design of the working body of the chopper. *Results of research work for 2021. Proc. of the Anniversary Sci. and Pract.I Conf. dedicated to the 100th anniversary of the Kuban State Agrarian University*. Krasnodar.Kuban State Agrarian University, 2022. Pp. 350-351 (In Russ.)

6. Frolov V.Y., Kotelevskaya E.A., Tumanova M.I. Theoretical aspects of the working process of a press extruder with a variable step auger for preparation of concentrated feed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference:*

AGRITECH-III-2020: *Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. P. 52003.

7. Frolov V.Y., Klasner G.G., Sysoev D.P. Substantiation of design and standard parameters of chopper of soaked grain of leguminous plants (as an example of the soya grain). *Periydico tchk qintmica*. 2019;31:258–267.

8. Klasner G.G., Pashinsky V.S. Theoretical substantiation of the design and regime parameters of the grinder of soaked soybeans. *Ural Scientific Bulletin*. 2022;8(3):76-80 (In Russ.)

9. Gabachiev D.T., Khazhmetov L.M. Determination of the mechanical characteristics of the working mechanism of the shredder.

*Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2021;3(33):105-109 (In Russ.)

10. Khazhmetov L.M., Gabachiev D.T. Results of studies of the design and regime parameters of the coarse feed grinder.

*Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;4(30):79-86 (In Russ.)

11. Gabachiev D.T., Khazhmetov L.M., Shekikhacheva L.Z. Mathematical modeling of the operation process of the roughage chopper. *AgroEcolInfo*. 2017;2(28):11 (In Russ.)

12. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M., Fiaphev Hazhmetova Z.L., Gabachiyev D.T. Scientific justification of power efficiency of technological process of crushing of forages. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1399(5):055002.

doi: 10.1088/1742-6596/1399/5/055002.

#### Сведения об авторах

**Аслан Каральбиевич Апажев** – доктор технических наук, ректор, профессор кафедры технической механики и физики;

**Юрий Ахметханович Шекихачев** – доктор технических наук, декан факультета механизации и энергообеспечения предприятий, профессор кафедры технической механики и физики;

**Руслан Асланбиевич Балкаров** – доктор технических наук, профессор кафедры технического обслуживания и ремонта машин в АПК;

**Амур Григорьевич Фиапшев** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой энергообеспечения предприятий;

**Людмила Зачиевна Шекихачева** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости.

#### Information about the authors

**Aslan K. Apazhev** – Doctor of Science (Engineering), Rector, Professor, Chair of Technical Mechanics and Physics;

**Yuri A. Shekikhachev** – Doctor of Science (Engineering), Dean of the Faculty of Mechanization and Energy Supply of Enterprises, Professor, Chair of Technical Mechanics and Physics;

**Ruslan A. Balkarov** – Doctor of Science (Engineering), Professor, Chair of Maintenance and Repair of Machines in the Agroindustrial Complex;

**Amur G. Fiapshev** – Candidate of Science (Engineering), Head of Chair of Energy Supply of Enterprises;

**Lyudmila Z. Shekikhacheva** – Candidate of Science (Agriculture), Associate Professor, Chair of Land Management and Real Estate Expertise.

Статья поступила в редакцию 28.07.2023; одобрена после рецензирования 17.08.2023; принята к публикации 29.08.2023.

The article was submitted 28.07.2023; approved after reviewing 17.08.2023; accepted for publication 29.08.2023.