

Хажметов Л. М., Габачиев Д. Т.

Khazhmetov L. M., Gabachiev D. T.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ГРУБЫХ КОРМОВ**

**RESULTS OF RESEARCH ON STRUCTURAL AND OPERATIONAL  
PARAMETERS OF THE COARSE FEED SHREDDER**

---

*Создание прочной кормовой базы является главным условием развития животноводства. В настоящее время поголовье крупного рогатого скота (КРС) в Кабардино-Балкарской Республике (КБР) содержится, в основном, в крестьянских (фермерских) хозяйствах.*

*Основной причиной сдерживания роста поголовья и повышения его продуктивности является дефицит качественных кормов и несбалансированность кормовых рационов, особенно рационов зимнего периода содержания КРС, когда для откорма сельскохозяйственных животных используются грубые корма.*

*Для измельчения грубых кормов используются различные технологии и технические средства, в основном, предназначенные для измельчения соломы и сена. Общими их недостатками являются низкая универсальность, большая энергоёмкость процесса измельчения и металлоёмкость, большая рыночная стоимость.*

*Для развития крестьянских (фермерских) хозяйств необходим универсальный измельчитель, обеспечивающий качественное измельчение грубых кормов независимо от их физико-механических характеристик при малых энергозатратах и имеющий небольшую стоимость.*

*В связи с этим разработан и испытан универсальный измельчитель грубых кормов.*

*Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили установить зависимость равномерности подачи измельчаемого материала (стебли кукурузы) от частоты вращения вала подающего транспортера и производительности измельчителя от числа оборотов основного вала при различных значениях влажности стеблей; определить*

*оптимальные конструктивно-режимные параметры работы измельчителя.*

*The creation of a solid forage base is the main condition for the development of animal husbandry. Currently, the number of cattle (cattles) in the Kabardino-Balkarian Republic (KBR) is kept mainly in peasant (farm) farms.*

*The main reason for restraining the growth of livestock and increasing its productivity is the lack of high-quality feed and imbalance in feed rations, especially rations for the winter period of cattle keeping, when roughage is used for feeding farm animals.*

*Various technologies and technical means are used for grinding roughage, mainly for grinding straw and hay. Their common disadvantages are low versatility, high energy consumption of the grinding process and metal consumption, high market value.*

*For the development of peasant (farm) farms, a universal grinder is needed, which provides high-quality grinding of roughage, regardless of their physical and mechanical characteristics at low energy consumption and having a low cost.*

*In this regard, a universal roughage grinder has been developed and tested.*

*The carried out theoretical and experimental studies made it possible to establish the dependence of the uniformity of the feed of the crushed material (corn stalks) on the frequency of rotation of the feed conveyor shaft and the productivity of the grinder on the number of revolutions of the main shaft at different values of the moisture content of the stems; determine the optimal design and operating parameters of the grinder.*

**Ключевые слова:** *грубые корма, измельчение, режущие и противорежущие ножи, транспортер, частота вращения,*

*межосевое расстояние, скорость и равномерность подачи, производительность.*

**Key words:** *coarse feed, grinding, cutting and anti-cutting knives, conveyor, rotation speed, center distance, feed speed and uniformity, productivity.*

**Хажметов Лиуан Мухажевич –**

доктор технических наук, профессор кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик  
Тел.: 8 928 076 14 72  
E-mail: [hajmetov@yandex.ru](mailto:hajmetov@yandex.ru)

**Khazhmetov Liuan Mukhazhevich –**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik  
Тел.: 8 928 076 14 72  
E-mail: [hajmetov@yandex.ru](mailto:hajmetov@yandex.ru)

**Габачиев Джамалдин Тамирланович –**

ассистент кафедры энергообеспечения предприятий, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик  
Тел.: 8 960 424 32 04  
E-mail: [Jantik\\_07@mail.ru](mailto:Jantik_07@mail.ru)

**Gabachiev Jamaludin Tamirlanovich –**

Assistant of the Department of Power Supply of Enterprises, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik  
Тел.: 8 960 424 32 04  
E-mail: [Jantik\\_07@mail.ru](mailto:Jantik_07@mail.ru)

**Введение.** Создание прочной кормовой базы является главным условием развития животноводства. В связи с этим разработка технологических процессов приготовления кормов и технических средств для их осуществления является актуальной проблемой при производстве животноводческой продукции.

В настоящее время поголовье крупного рогатого скота (КРС) в Кабардино-Балкарской Республике (КБР) содержится, в основном, в крестьянских (фермерских) хозяйствах.

Основная причина сдерживания роста поголовья и повышения его продуктивности – дефицит качественных кормов и несбалансированность кормовых рационов, особенно рационов зимнего периода содержания КРС, когда для откорма сельскохозяйственных животных используются грубые корма.

Грубыми кормами считаются сено, солома, веточный корм, стебли и стержни кукурузных початков, корзинки подсолнечника и др.

Для измельчения грубых кормов используются различные технологии и технические средства, в основном, предназначенные для измельчения соломы и сена. Общими их недостатками являются низкая универсальность, большая энергоемкость процесса измельчения и металлоемкость.

В этой связи, разработка универсального измельчителя, обеспечивающего измельчение грубых кормов независимо от их физико-механических характеристик при малых энергетических затратах имеет актуальное значение для развития крестьянских (фермерских) хозяйств.

**Методы проведения работ.**

Исследования проводились на основе стандартов: ОСТ 70.19.2-74 [1]; ГОСТ Р ИСО 6497 [2]; ГОСТ 12.2.042-2013 [3]. Исследование процесса измельчения на опытной установке проводилось на стеблях кукурузы, размер которых варьировал в пределах 100-150 см.

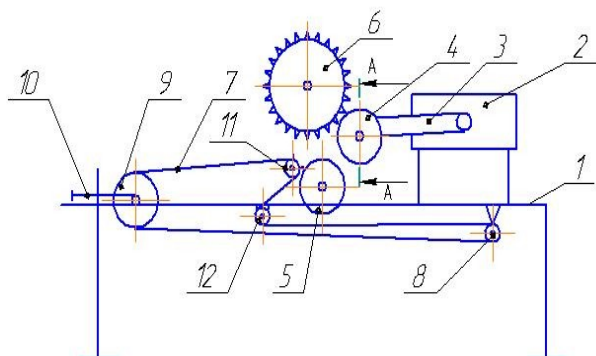
Влажность стеблей кукурузы была 10-40%.



**Рисунок 1 –** Стебли и початки кукурузы, подлежащие измельчению

**Экспериментальная база, ход исследования.** Экспериментальные исследования проводились на разработанном опытном образце измельчителя грубых кормов, схема и общий вид которого приведен на рисунке 2 [4, 5, 6].

Измельчитель (рис. 2) включает раму со стойками 1, двигатель 2 (электродвигатель или бензиновый двигатель), механизм привода 3, основной вал с режущими ножами 4 и подающий вал с протирежущими ножами 5, вал с циркуляционными дисками 6, транспортер 7, его ведущий 8 и ведомый 9 валы, механизмы натяжения 10, 11 и 12 транспортера 7.



**Рисунок 2** – Схема и общий вид измельчителя: 1 – стойка; 2 – двигатель; 3 – механизм привода; 4 – основной вал с режущими ножами; 5 – подающий вал с протирежущими ножами; 6 – вал с циркуляционными дисками, 7 – транспортер, 8, 9 – ведущий и ведомый валы транспортера, 10, 11 и 12 механизмы натяжения 10, 11 и 12 транспортера

Общий вид подающего и основного валов (рис. 3, а), механизмы привода рабочих органов измельчителя (рис. 3, б и в).

Зависимость величины подачи стеблей кукурузы от частоты вращения вала в опытах устанавливалась при частоте

вращения вала транспортера равной 50-100 об/мин, интервал варьирования 50 об/мин.



а



б



в

**Рисунок 3** – Общий вид подающего и основного валов (а), механизмы привода рабочих органов измельчителя (б и в)

Эксперименты проведены при установившемся режиме. Алгоритм проведения опыта следующая: при

включении двигателя, приводящего в движение транспортер, масса стеблей кукурузы подавалась к рабочим органам. Контроль времени сбора стеблей кукурузы осуществлялся с использованием секундомера, замер массы обрабатываемого материала осуществлялся с использованием весов. Опыт продолжался 5 мин. Опыты проводились в трёхкратной повторности.

Производительность измельчителя определялась при установленном режиме работы. Установившийся режим – это режим при постоянном расходе энергии на измельчение. Наступление установившегося режима работы устанавливали с использованием показаний цифрового мультиметра DT-9202A, который предназначен для фиксирования величины мощности, которая затрачивается на работу измельчителя. В случае стабилизации показания прибора, отбирали пробы для установления производительности

измельчителя при этом режиме. Часовая производительность устанавливалась по методу взятия пробы за конкретный период работы. Момент отбора пробы фиксировался с использованием секундомера.

Отобранная проба взвешивалась с использованием электронных весов ВЛКТ-500М (погрешность 0,01 кг).

Результатом расчетов производительности измельчителя являлось среднее арифметическое суммы всех трех проб.

Для определения зависимости энергоемкости процесса измельчения от числа оборотов режущих ножей, межосевого расстояния между режущими и противорежущими ножами и скорости подачи исходного материала был проведен полнофакторный эксперимент. Основные факторы и уровни их варьирования приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – Основные факторы и уровни их варьирования

Факторы Значение	Число оборотов режущих ножей, мин <sup>-1</sup>			Межосевое расстояние между основным и подающим валами, м			Скорость подачи исходного материала, м/с		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Кодированное (безразмерное)	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1
Натуральное	$n_{PH}, \text{мин}^{-1}$			$S_H, \text{м}$			$V_{IM}, \text{м/с}$		
	1500	2000	2500	0,092	0,095	0,098	0,04	0,08	0,12

**Результаты исследований.** Отличительной чертой предлагаемого измельчителя является возможность измельчения материалов, имеющих тонковолокнистую структуру.

Повышение эффективности измельчения грубых кормов возможно за счет использования в агрегате двух параллельных валов: основного и подающего, на цилиндрической поверхности которых по всей длине выточены шесть зубьев шириной 0,007 м и длиной 0,04 м, расположенные под углом 60° друг к другу и размещены с шагом 0,02 м. Зубья входят в зацепление друг с другом с зазором 0,003 м. Основной вал с режущими ножами вращается с частотой 2000-2011 мин<sup>-1</sup> по часовой стрелке, а подающий вал с противорежущими ножами с частотой 80-90 мин<sup>-1</sup>, обеспечивая качественные показатели измельчения,

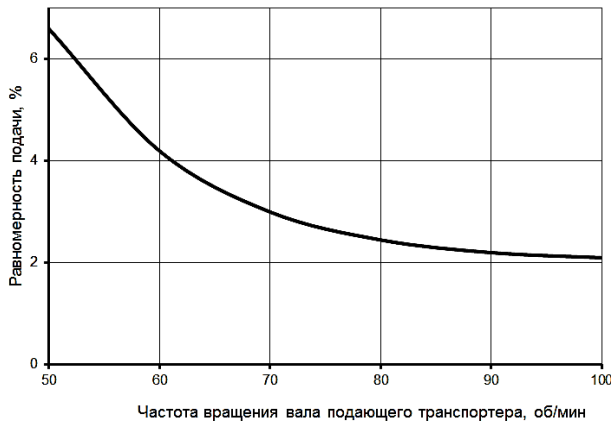
соответствующие зоотехническим требованиям [5, 6].

Обеспечить нормальный технологический процесс измельчения возможно путем создания равномерного потока обрабатываемого материала. В свою очередь, равномерный поток обрабатываемого материала гарантированно снижает энергоемкость процесса измельчения, увеличивает производительность, снижает динамические нагрузки на вал измельчительного устройства.

С учетом физико-механических свойств обрабатываемого материала провели серию экспериментов для выявления зависимости равномерности  $\Delta q_{II}$  подачи обрабатываемого материала к рабочим органам измельчительного устройства от частоты

вращения  $n_T$  вала подающего транспортера (рис. 3) [7].

Анализ зависимости неравномерности подачи измельчаемого материала  $\Delta q_{II}$  от частоты вращения  $n_T$  вала подающего транспортера показывает, что предлагаемая конструкция подающего транспортера обеспечивает требуемую равномерность потока измельчаемого материала к рабочим органам измельчителя в интервале частот вращения  $n_T$  вала подающего транспортера 80-90 об/мин.



**Рисунок 4** – Зависимость равномерности подачи измельчаемого материала от частоты вращения вала подающего транспортера (стебли кукурузы)

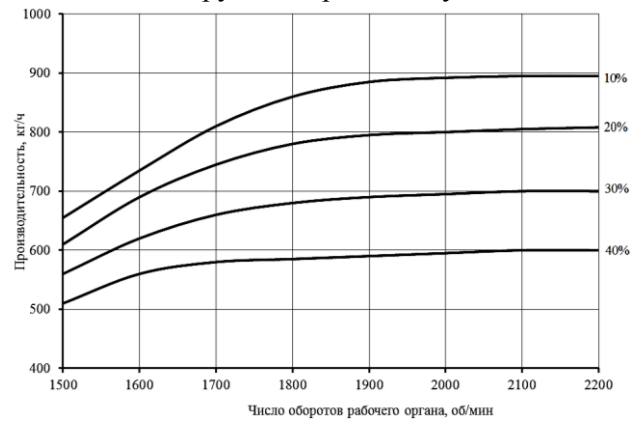
Для выбора оптимальных режимов резания были проведены исследования зависимости производительности измельчителя от числа оборотов основного вала с режущими ножами и относительной влажности исходного материала – стеблей кукурузы вместе с початками [7, 8].

Влияние числа оборотов основного вала ( $n_{PH}$ , мин<sup>-1</sup>) для различных значений влажности корма ( $W_{OTH}$ ) на производительность разработанного измельчителя ( $Q_{ИЗ}$ , кг/ч) можно оценить по рисунку 5.

Из рисунка 5 видно, что рациональное значение числа оборотов основного вала находится в диапазоне 1850-2050 мин<sup>-1</sup>. В этих пределах числа оборотов основного вала и находится максимум производительности в независимости от влажности обрабатываемого материала.

В результате обработки экспериментальных данных, полученных

при изучении влияния числа оборотов режущих ножей, межосевое расстояние между режущими и противорежущими ножами и скорости подачи исходного материала на энергоёмкость процесса измельчения грубых кормов полу-



**Рисунок 5** – Зависимость производительности измельчителя от числа оборотов основного вала для различных значений влажности стеблей кукурузы

чены следующие уравнения в кодированных и натуральных единицах [8]:

- критерий оптимизации – энергоёмкость измельчения  $\mathcal{E}_{ИЗ}$ :

- в кодированной форме:

$$\begin{aligned} Y_{\mathcal{E}_{ИЗ}} = & 1,6933 + 0,3888X_1 - 0,9963X_2 - \\ & - 2,225X_3 + 0,165X_1X_2 + \\ & + 0,143X_1X_3 + 0,0925X_2X_3 + \\ & + 4,3084X_1^2 + 3,3584X_2^2 + 4,3809X_3^2 \end{aligned} \quad (1)$$

- в натуральной форме:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{ИЗ} = & 3518,223 - 0,0792n_{PH} - 71513,3S_H - \\ & - 581,19V_{ИМ} + 0,11n_{PH}S_H + 0,007125n_{PH}V_{ИМ} + \\ & + 770,833S_HV_{ИМ} + 0,000017n_{PH}^2 + 373155,6S_H^2 + \\ & + 2738,06V_{ИМ}^2. \end{aligned} \quad (2)$$

В результате анализа уравнений регрессии определены оптимальные значения основных конструктивно-режимных параметров предлагаемого измельчителя: число оборотов режущих ножей  $n_{PH}=1974$  об/мин; межосевое расстояние между режущими и противорежущими ножами  $S_H=0,097$  м и скорость подачи исходного материала  $V_{ИМ}=0,09$  м/с. При этих значениях энергоёмкость

измельчения грубых кормов минимальна и составляет 1,33 кВт·ч/т [8].

Зависимость энергоемкости измельчения грубых кормов от исследуемых параметров приведена на рисунках 6-8.

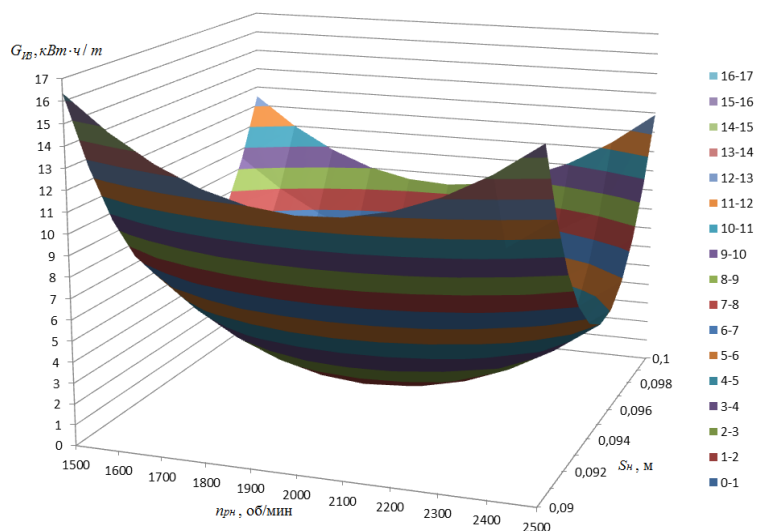


Рисунок 6 – Зависимость энергоемкости измельчения грубых кормов от числа оборотов режущих ножей и межосевого расстояния между режущими и противорежущими ножами

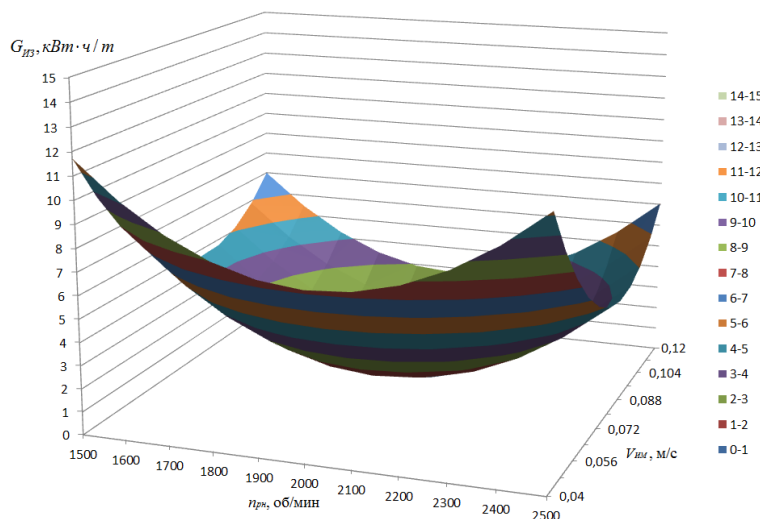
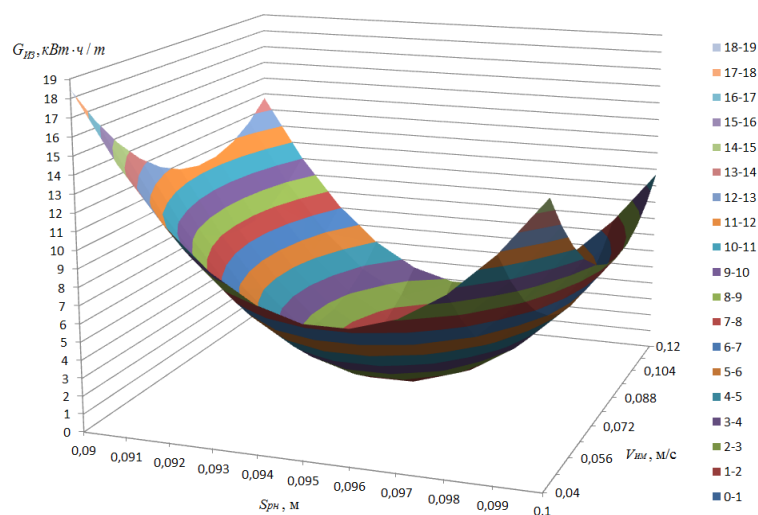


Рисунок 7 – Зависимость энергоемкости измельчения грубых кормов от числа оборотов режущих ножей и скорости подачи исходного материала



**Рисунок 8** – Зависимость энергоемкости измельчения грубых кормов от межосевого расстояния между режущими и противорежущими ножами и скорости подачи исходного материала

**Область применения результатов.**

Данный измельчитель может найти применение в крестьянских (фермерских) хозяйствах; частном подворье; агропромышленных предприятиях, специализирующихся на выращивании крупного рогатого скота и птиц.

**Выводы.** 1. Разработан опытный образец измельчителя грубых кормов, основными рабочими органами которого являются два параллельных вала: основной и подающий, на цилиндрической поверхности которых по всей длине выточены шесть зубьев шириной 0,007 м и длиной 0,04 м, расположенные под углом  $60^{\circ}$  относительно друг друга и распределенные по всей длине цилиндрической поверхности валов с шагом 0,02 м, входящие в зацепление друг с другом с зазором 0,003 м, при этом основной вал с режущими ножами вращается с частотой 2000-2011  $\text{мин}^{-1}$  по часовой стрелке, а подающий вал с противорежущими ножами с

частотой 80-90  $\text{мин}^{-1}$  против часовой стрелки, исключая забивание рабочих органов измельчителя, обеспечивая качественные показатели измельчения, соответствующие зоотехническим требованиям при одновременном снижении энергозатрат.

Новизна технического решения подтверждена Патентом РФ на полезную модель №168572.

2. Установлены оптимальные значения числа оборотов режущих ножей (1974 об/мин), межосевого расстояния между основным и подающим валами (0,097 м) и скорости подачи исходного материала (0,09 м/с), при которых обеспечивается минимальная энергоемкость процесса измельчения.

Максимальная производительность при измельчении стеблей и стержней кукурузы – 0,9 т/ч, при измельчении сена или соломы – 2-3 т/ч. Длина резки соответствует зоотехническим требованиям.

Общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2014. – 23 с.

**Литература**

1. *ОСТ 70.19.2-74.* Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методы испытаний. М.: 1975. – 54 с.

2. *ГОСТ Р ИСО 6497-2011.* Корма для животных. Отбор проб. – М.: Стандартинформ, 2012. – 15 с.

3. *ГОСТ 12.2.042-2013.* Система стандартов безопасности труда. Машины и технологическое оборудование для животноводства и кормопроизводства.

4. *Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Khazhmetov L.M., Gabachiyev D.T. [и др.] Scientific justification of power efficiency of technological process of crushing of forages // Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference «Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering (APITECH-2019)». – Vol. 1399. – 2019.*

5. *Хажметов Л.М., Габачиев Д.Т., Шекихачева Л.З.* Обоснование конструктивно-технологической схемы

измельчителя грубых кормов // АгроЭкоИнфо. – 2017. – №2(28). – С. 14.

### References

1. OST 70.19.2-74. Mashiny i oborudovanie dlia prigotovleniia kormov Programma i metody ispytaniia. – М., 1975 – 54 s.

2. GOST R ISO 6497-2011. Korma dlia zhyvotnykh Otkor prob. – М.: Standartinform, 2012. – 15 s.

3. GOST 12.2042-2013. Sistema standartov bezopasnosti truda Mashiny i tekhnologicheskoe oborudovanie dlia zhyvotnovodstva i kormoproizvodstva Obshchie trebovaniia bezopasnosti. – М.: Standartinform, 2014. – 23 s.

4. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Khazhmetov L.M., Gabachiyev D.T. [i dr.] Scientific justification of power efficiency of technological process of crushing of forages // Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference «Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering (APITECH-2019)». – Vol. 1399. – 2019.

5. Khazhmetov L.M., Gabachiev D.T., Shekikhacheva L.Z. Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskoi skhemy izmelchitelia grubyykh kormov // AgrOEhkOInfo. – 2017. – №2(28). – S. 14.

6. Пат. 168572 Российская Федерация. МПК В02С4/02. Измельчитель грубых кормов / А.К. Апажев, Л.М. Хажметов, Ю.А. Шекихачев, Д.Т. Габачиев [и др.]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова»; – №2016118869; заявл. 16.05.2019; опубл. 09.02.2017; Бюл. №4.

7. Хажметов Л.М., Габачиев Д.Т., Шекихачева Л.З. Математическое моделирование процесса работы измельчителя грубых кормов // АгроЭкоИнфо. 2017. – №2(28). – С. 11.

8. Хажметов Л.М., Габачиев Д.Т., Шекихачева Л.З. Оптимизация параметров и режимов работы измельчителя кормов // АгроЭкоИнфо. – 2017. – №4(30). – С. 37.

6. Pat. 168572 Rossiiskaia Federatsiia. MPK V02S4/02. Izmelchitel grubyykh kormov / A.K. Apazhev, L.M. Khazhmetov, U.A. Shekikhachev, D.T. Gabachiev [i dr.]; zaiavitel i patentoobladatel Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia «Kabardino-Balkarskii gosudarst-vennyi agrarnyi universitet im. V.M. Kokova»; – №2016118869; zaiavl. 16.05.2019; opubl. 09.02.2017; Biul. №4.

7. Khazhmetov L.M., Gabachiev D.T., Shekikhacheva L.Z. Matematicheskoe modelirovanie protsessa raboty izmelchitelia grubyykh kormov // AgrOEhkOInfo. 2017. – №2(28). – S. 11.

8. Khazhmetov L.M., Gabachiev D.T., Shekikhacheva L.Z. Optimizatsiia parametrov i rezhimov raboty izmelchitelia kormov // AgrOEhkOInfo. – 2017. – №4(30). – S. 37.



