

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.100>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ КОМБИКОРМОВ И
КОРМОВЫХ ДОБАВОК

Научная статья

Кишкилев С.В.¹, Антимонов С.В.^{2,*}, Василевская С.П.³, Белов А.Г.⁴, Ханин В.П.⁵¹ ORCID : 0000-0003-2262-1863;³ ORCID : 0000-0003-4090-5288;⁴ ORCID : 0000-0003-3824-5436;⁵ ORCID : 0009-0002-4262-3399;^{1, 2, 3, 4, 5} Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (antimonov.stas[at]yandex.ru)

Аннотация

При изготовлении комбикормов производители стремятся заменить зерновое сырьё различными отходами пищевого и агропромышленного комплекса. Такое стремление особенно четко прослеживается в странах западной Европы. Это связано с высокой стоимостью зерновых ресурсов, что непосредственно влияет на конечную стоимость сельскохозяйственной продукции. Затраты на кормление в отдельных случаях могут составлять до 80% от конечной цены реализации продукции. Поэтому совершенствование технологий производства комбикормов и рационов питания сельскохозяйственных животных является актуальной задачей. В качестве заменителей зернового сырья могут выступать такие отходы промышленности как: свекольный жом, стебли бобовых, лузга различных зерновых культур и другие. Обычно заменители зернового сырья содержат в своём составе большую долю клетчатки и лигнина, которые сложно перевариваются в процессе пищеварения у сельскохозяйственных животных. Для более полного усвоения этих веществ необходимо проводить технологические операции, направленные на разрушение высокобиополимерных структур с целью получения более простых легкоусвояемых веществ. В статье рассматривается совершенствование технологии получения экструдированных комбикормов и кормовых добавок за счёт применения операции двухстадийного измельчения с химической обработкой и заморозкой сырья.

Ключевые слова: измельчение, экструдирование, дробилка, удельная энергоёмкость, конструктивные параметры.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF OBTAINING EXTRUDED MIXED FODDERS AND FEED ADDITIVES

Research article

Kishkilev S.V.¹, Antimonov S.V.^{2,*}, Vasilevskaya S.P.³, Belov A.G.⁴, Khanin V.P.⁵¹ ORCID : 0000-0003-2262-1863;³ ORCID : 0000-0003-4090-5288;⁴ ORCID : 0000-0003-3824-5436;⁵ ORCID : 0009-0002-4262-3399;^{1, 2, 3, 4, 5} Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

* Corresponding author (antimonov.stas[at]yandex.ru)

Abstract

When making mixed fodders, producers try to replace grain raw materials with various wastes of food and agro-industrial complex. Such aspiration is especially clear in the countries of Western Europe. This is due to the high cost of grain resources, which directly affects the final cost of agricultural products. Feeding costs in some cases can be up to 80% of the final selling price of products. Therefore, improvement of technologies of production of mixed fodders and diets for farm animals is an urgent task. As substitutes for grain, raw materials can be such industrial wastes as: beet pulp, stems of legumes, husks of various grain crops and others. Usually substitutes for grain raw materials contain a large proportion of fibre and lignin, which are difficult to digest during digestion in farm animals. For more complete assimilation of these substances it is necessary to carry out technological operations aimed at destruction of high biopolymer structures in order to obtain simpler easily digestible substances. The article examines the improvement of the technology of extruded mixed fodders and feed additives through the use of two-stage grinding operation with chemical treatment and freezing of raw materials.

Keywords: grinding, extrusion, crusher, specific energy consumption, design parameters.

Введение

Доля замещения зернового сырья может достигать до 85 % от общей массы производимых комбикормов, что достаточно существенно сказывается на результирующих затратах сельскохозяйственного производства [1]. В качестве технологической операции при приготовлении комбикормов для увеличения переваримости рационально применять экструзию. При экструдировании кормовой смеси создаётся давление около 5 МПа и температура от 160 °С до 180 °С вследствие чего происходит разрыв высокобиополимерных цепей что обуславливает дальнейшее более полное и легкое усвоение комбикормового продукта под действием микрофлоры пищеварительного тракта животного [2]. Характер механического воздействия в совокупности с высоким давлением и температурой обуславливает степень биохимических изменений клетчатки и лигнина в сырье. Для более глубокого преобразования высокобиополимерных

структур необходимо перед экструдированием производить двухстадийное измельчение с химической обработкой и заморозкой сырья. При этом производительность пресс-экструдера и удельные затраты энергии на процесс сильно зависят от влажности экструдруемого сырья и от его гранулометрического состава. Чем больше влажность и меньше размер частиц экструдруемого сырья – тем легче и менее энергозатратно проходит сам процесс экструдирования [3].

Экспериментально установлено, что при такой последовательности технологических операций удастся максимально полно перевести высокомолекулярные соединения углеводов в низкомолекулярные углеводы. Количество сырой и кислоторастворимой клетчатки и лигнина в таких комбикормах уменьшается на 50% [4].

Немаловажным в процессе экструзии являются конструктивные особенности и механизм прессования. Заметное влияние на количество сырой клетчатки оказывает диаметр отверстий в матрице. При уменьшении диаметра отверстий матрицы содержание клетчатки и лигнина снижается что, объясняется более жестким механическим воздействием на продукт, а количество содержания низкомолекулярных углеводов повышается.

Предложенная последовательность проведения технологических операций показывает особенно большую эффективность при обработке комбикормового сырья с большим содержанием клетчатки. В этом случае «освобождение» и распад целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина наиболее значительны [5].

Применение химической обработки сырья в предлагаемой технологии, позволяет эффективно использовать в качестве заменителей зернового сырья лузги крупяных культур и подсолнечника, содержащие в своём составе высокий процент целлюлозы и лигнина.

Клеточные оболочки отходов растительного сырья обладают ультраструктурой схожей по строению со структурой железобетона. Микрофибриллы целлюлозы выполняют армирующую роль, а пространство между ними заполняет лигнин, который обладает высокой прочностью на сжатие [6]. Вследствие воздействия химических реагентов на такую структуру сырья показатель деструкции лигнина и целлюлозы значительно увеличивается.

На кафедре машин и аппаратов химических и пищевых производств Оренбургского государственного университета проводятся исследования по разработке технологии получения экструдированных комбикормов с частичной заменой зернового сырья на отходы растительного происхождения (лузга крупяных культур и подсолнечника), содержащие в своём составе большой процент лигнина и клетчатки. В процессе проведения исследований в качестве основного оборудования использовали шкаф шоковой заморозки, молотковую дробилку, роторную дробилку, кормовой одношнековый пресс-экструдер [7].

Цель работы заключалась в совершенствовании технологии получения экструдированных комбикормов с применением в качестве заменителей зерна отходов растительного происхождения различных отраслей. Технологический результат достигается за счет внедрения в производство двух стадийного измельчения растительного сырья, с обработкой его различными химическими реагентами и охлаждением до отрицательной температуры.

Основная часть

Объектом исследования является совершенствование технологии получения экструдированных комбикормов. Для проведения экспериментальных исследований и апробации предлагаемой технологии использовали: шкаф шоковой заморозки, молотковую дробилку (ОАО «Долина»), роторную дробилку («Фермер», конструкция ООО «Уралспецмаш»), одношнековый пресс-экструдер ПЭШ-30/1.

Для эксперимента готовили три состава смесей растительных отходов с высоким содержанием целлюлозы и лигнина: первый состав смеси содержал 80% гречишной лузги и 20 % пшеничных отрубей; второй состав смеси содержал 80% подсолнечной лузги и 20% пшеничных отрубей; третий состав смеси содержал 20% гречишной лузги, 20% подсолнечной лузги и 60% пшеничных отрубей. Все три состава смесей на первой стадии подвергали измельчению на молотковой и роторной дробилке. Далее измельчённое сырьё обрабатывали 3, 4 и 5% раствором NaOH и замораживали до температуры минус 20 °С. После этого измельчённые и замороженные смеси подвергали второй стадии измельчения на молотковой и роторной дробилке.

Анализ экспериментальных данных показал, что сопротивляемость растительного сырья измельчению с понижением температур снижается. Такой подход к реализации предложенной технологии позволяет снизить энергозатраты на измельчение. При замерзании вода, содержащаяся внутри растительных клеток, превращается в лед и разрывает их структуру, что снижает сопротивляемость к измельчению и увеличивает хрупкость [9], [10].

После второй стадии измельчения смеси подвергали экструдированию на кормовом одношнековом пресс-экструдере при этом частоту вращения шнека пресс-экструдера варьировали в диапазоне от 30 до 120 об/мин [11], [12], [13].

Производительность пресс-экструдера определяли по отобранной навеске за определенный временной промежуток с одновременным регистрированием затраченной мощности за тот же промежуток времени.

По результатам проведённых экспериментальных исследований для всех девяти образцов были построены следующие зависимости: производительности пресс-экструдера Q (кг/час) от частоты вращения шнека n (об/мин); удельной энергоёмкости процесса экструзии \mathcal{E} (кВт/час кг) от частоты вращения шнека n (об/мин) [13], [14], [15], [16].

Зависимости производительности пресс-экструдера от частоты вращения его шнека для всех девяти образцов обработанных 3, 4 и 5% раствором NaOH и замороженных перед второй стадии измельчения до температуры минус 20 °С, представлены на рисунках 1, 2 и 3.

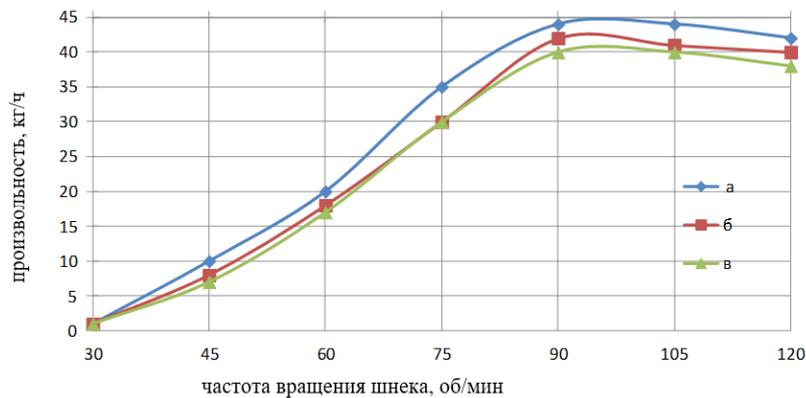


Рисунок 1 - Зависимость производительности пресс-экструдера от частоты вращения его шнека для кормосмесей различного состава при её обработке 3 % раствором NaOH:

a – первый состав смеси; *б* - второй состав смеси; *в* - третий состав смеси

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.100.1>

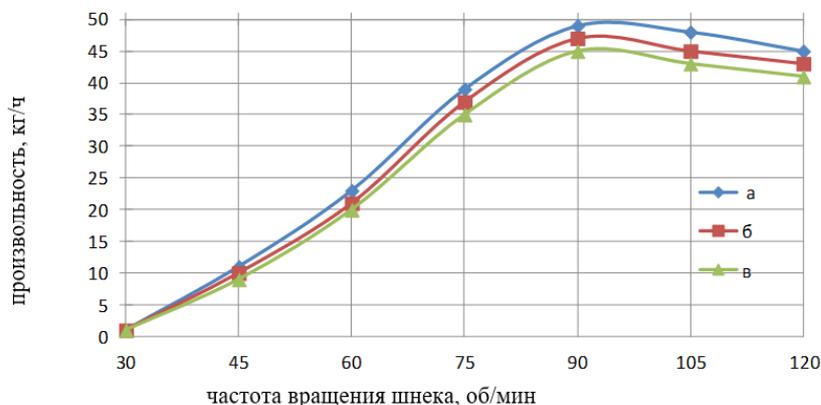


Рисунок 2 - Зависимость производительности пресс-экструдера от частоты вращения его шнека для кормосмесей различного состава при её обработке 4 % раствором NaOH:

a – первый состав смеси; *б* - второй состав смеси; *в* - третий состав смеси

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.100.2>

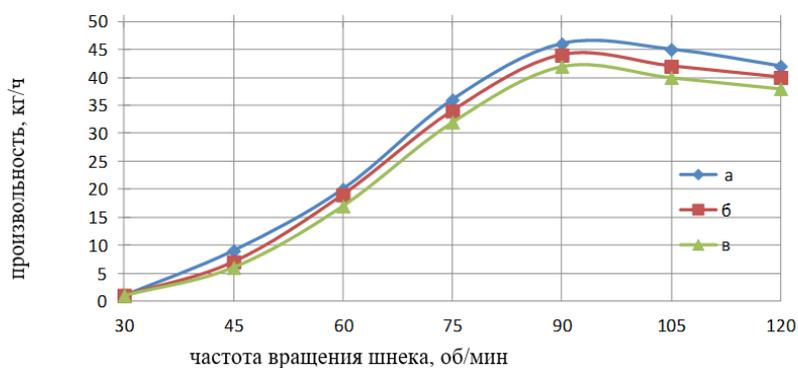


Рисунок 3 - Зависимость производительности пресс-экструдера от частоты вращения его шнека для кормосмесей различного состава при её обработке 5 % раствором NaOH:

a – первый состав смеси; *б* - второй состав смеси; *в* - третий состав смеси

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.100.3>

Из анализа полученных графиков видно, что наибольшую производительность в 49 кг/ч возможно получить экструдировав первый состав смеси при её обработке 4% раствором NaOH. При этом необходимо отметить, что оптимальная частота вращения шнека во всех экспериментах составила 90 об/мин. Экструдировав первый, второй и

третий состав смеси при обработке их 3% и 5% раствором NaOH полученные результаты по произвольности оказались чуть хуже и составили до 46 кг/ч.

Зависимости удельной энергоёмкости процесса экструзии от частоты вращения шнека для всех девяти образцов обработанных 3, 4 и 5% раствором NaOH и замороженных перед второй стадией измельчения до температуры минус 20 °С, представлены на рисунках 4, 5 и 6.

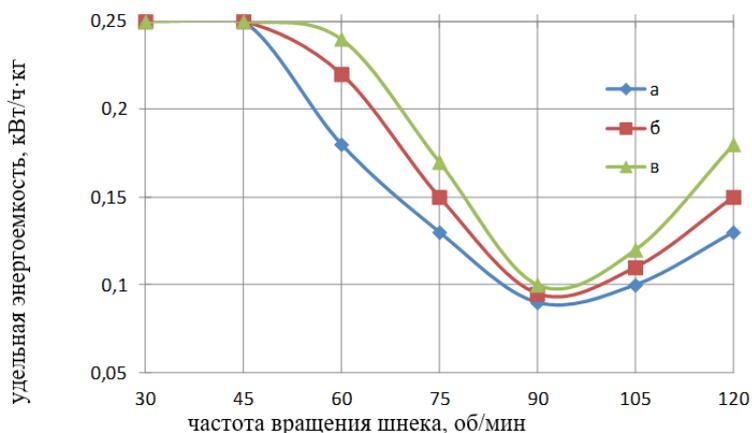


Рисунок 4 - Зависимости удельной энергоёмкости процесса экструзии от частоты вращения шнека для кормосмесей различного состава при её обработке 3 % раствором NaOH:

а – первый состав смеси; б - второй состав смеси; в - третий состав смеси

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.100.4>

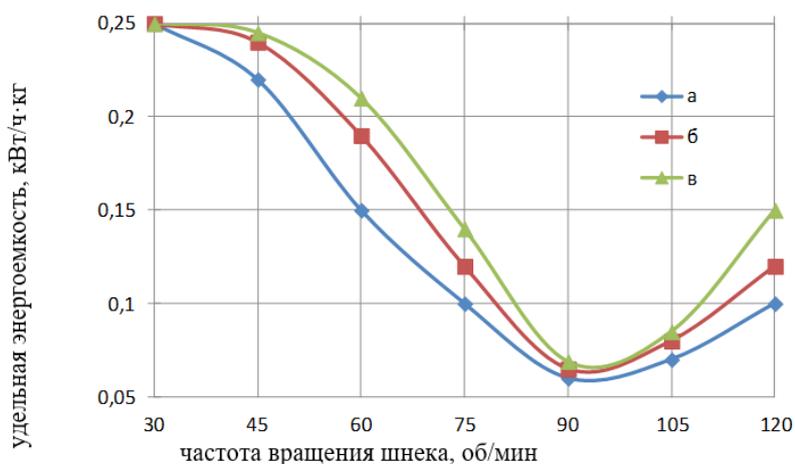


Рисунок 5 - Зависимости удельной энергоёмкости процесса экструзии от частоты вращения шнека для кормосмесей различного состава при её обработке 4 % раствором NaOH:

а – первый состав смеси; б - второй состав смеси; в - третий состав смеси

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.100.5>

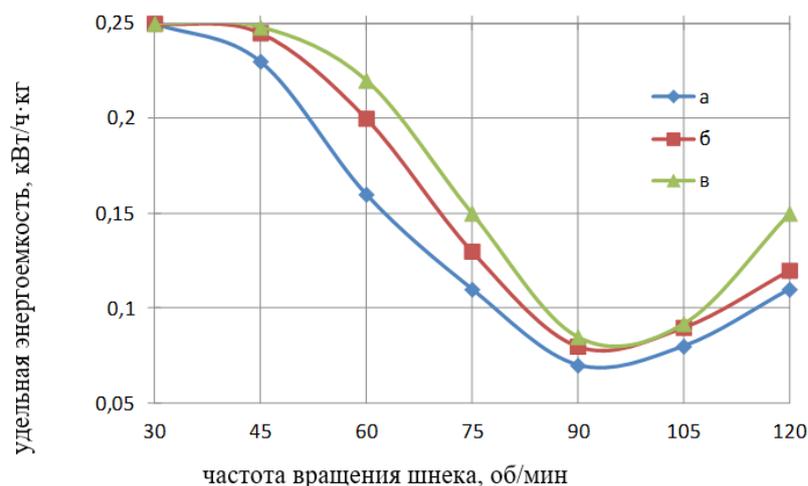


Рисунок 6 - Зависимости удельной энергоёмкости процесса экструзии от частоты вращения шнека для кормосмесей различного состава при её обработке 5 % раствором NaOH:

a – первый состав смеси; б - второй состав смеси; в - третий состав смеси

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.100.6>

Из анализа полученных графиков видно, что наименьшую энергоёмкость 0,06 кВт/ч·кг возможно получить экструдировав первый состав смеси при её обработке 4% раствором NaOH. При этом необходимо отметить, что оптимальная частота вращения шнека во всех экспериментах составила 90 об/мин. Экструдировав первый, второй и третий состав смеси при обработке их 3% и 5% раствором NaOH полученные результаты по удельной энергоёмкости оказались чуть хуже и составили более 0,07 кВт/ч·кг.

Заключение

Таким образом, можно констатировать, что для совершенствования предложенной технологии производства экструдированных комбикормов с применением двух стадийной операции измельчения, обработкой химическими реагентами и заморозкой сырья является рациональным использование в качестве химических реагентов 4% раствор NaOH.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.100.7>

Conflict of Interest

None declared.

Review

International Research Journal Reviewers Community

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.143.100.7>

Список литературы / References

1. Коротков В.Г. Идентификация параметров продукто-воздушного слоя в измельчителе зерна ударно-стирающего действия / В.Г. Коротков, В.Ю. Полищук, С.Ю. Соловых // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2002. — № 5. — С. 192-194.
2. Коротков В.Г. Математическая модель измельчителя зерна ударно-стирающего действия / В.Г. Коротков, В.Ю. Полищук, С.В. Антимонов // Техника в сельском хозяйстве. — 2001. — № 6. — С. 6-8.
3. Шахов В.А. Кинематические и динамические аспекты взаимодействия ингредиентных частиц с функциональными элементами рабочей камеры измельчителя зернового материала / В.А. Шахов, Е.М. Асманкин, Ю.А. Ушаков [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2017. — № 3 (65). — С. 87-89.
4. Попов В.П. Математическая модель измельчения зернового сырья в дробилках центробежного типа / В.П. Попов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2017. — № 2 (64). — С. 77-79.
5. Сысоев В.Н. Оборудование перерабатывающих производств / В.Н. Сысоев, С.А. Толпекин. — Самара: РИЦ СГСХА, 2013. — 174 с.
6. Ромадина Ю.А. Теоретические основы технологии переработки продукции растениеводства / Ю.А. Ромадина, А.В. Волкова. — Самара: РИЦ СГСХА, 2012. — 308 с.
7. Белов А.Г. Практические рекомендации по внедрению в сельскохозяйственное производство Оренбургской области инновационной разработки энерго — и ресурсосберегающей техники и технологии производства экструдированных кормов с ультрадисперсными частицами на основе сырья оренбургской области / А.Г. Белов, С.В. Кишкилев, Д.В. Наумов. — Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2019 — 20 с.

8. Сычев В.В. Термодинамические свойства азота / В.В. Сычев [и др.] — М.: Издательство стандартов, 1977 — 352 с.
9. Анциферов С.И. Проектирование молотковой дробилки СМД-97А с различными вариантами исполнения молотков / С.И. Анциферов // Межвузовский сборник научных статей. — 2017. — С. 324-330.
10. Титов В.А. Программно-математический комплекс для создания специальных зубчатых передач измельчителей / В.А. Титов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2011. — № 6. — С. 246-251.
11. Алексеев С.А. Основные тенденции обеспечения кормами молочного скотоводства / С.А. Алексеев // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. — 2020. — № 3. — С. 110-114.
12. Алексеев С.А. Основные направления размещения и специализации сельского хозяйства России / С.А. Алексеев, А.И. Алтухов, Л.Б. Винничек [и др.] — М.: Сам полиграфист, 2020 — 152 с.
13. Алексеев С.А. Создание специализированных зон производства продукции скотоводства и кормовой базы для крупного рогатого скота / С.А. Алексеев // Региональные проблемы устойчивого развития сельской местности. — Пенза: РИО ПГАУ, 2019. — С. 19-22.
14. Косолапова В.Г. Эффективность «Румистарта» доказана на практике / В.Г. Косолапова // Животноводство России. — 2019. — № 5. — С. 42-43.
15. Akhmetov T.M. Characteristics of dairy productivity of holstein heifers depending on their 0 genetic potential / T.M. Akhmetov, N.Yu. Safina, Sh.K. Shakirov // Bio web of conferences. — 2020. — P. 105.
16. Попов В.В. Гидропонный корм: достоинства и недостатки, качество и эффективность / В.В. Попов // Адаптивное кормопроизводство. — 2019. — № 3. — с. 86.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Korotkov V.G. Identifikacija parametrov produkto-vozdushnogo sloja v izmel'chitele zerna udarno-istirajushhego dejstvija [Identification of the parameters of the product-air layer in a grain grinder of impact-abrasive action] / V.G. Korotkov, V.Ju. Polishhuk, S.Ju. Solovyh // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University]. — 2002. — № 5. — P. 192-194. [in Russian]
2. Korotkov V.G. Matematicheskaja model' izmel'chitelja zerna udarno-istirajushhego dejstvija [Mathematical model of a grain grinder with impact-abrasive action] / V.G. Korotkov, V.Ju. Polishhuk, S.V. Antimonov // Tehnika v sel'skom hozjajstve [Technology in agriculture]. — 2001. — № 6. — P. 6-8. [in Russian]
3. Shahov V.A. Kinematicheskie i dinamicheskie aspekty vzaimodejstvija ingredientnyh chastic s funkcional'nymi jelementami rabochej kamery izmel'chitelja zernovogo materiala [Kinematic and dynamic aspects of the interaction of ingredient particles with functional elements of the working chamber of a grain material grinder] / V.A. Shahov, E.M. Asmankin, Ju.A. Ushakov [et al.] // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [News of the Orenburg State Agrarian University]. — 2017. — № 3 (65). — P. 87-89. [in Russian]
4. Popov V.P. Matematicheskaja model' izmel'chenija zernovogo syr'ja v drobilkah centrobezhnogo tipa [Mathematical model of grinding grain raw materials in centrifugal crushers] / V.P. Popov // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [News of the Orenburg State Agrarian University]. — 2017. — № 2 (64). — P. 77-79. [in Russian]
5. Sysoev V.N. Oborudovanie pererabatyvajushhijh proizvodstv [Equipment for processing industries] / V.N. Sysoev, S.A. Tolpekin. — Samara: RIC SGSHA, 2013. — 174 p. [in Russian]
6. Romadina Ju.A. Teoreticheskie osnovy tehnologii pererabotki produkcii rastenievodstva [Theoretical foundations of technology for processing crop products: textbook] / Ju.A. Romadina, A.V. Volkova. — Samara: RIC SGSHA, 2012. — 308 p. [in Russian]
7. Belov A.G. Prakticheskie rekomendacii po vnedreniju v sel'skohozjajstvennoe proizvodstvo Orenburgskoj oblasti innovacionnoj razrabotki jenergo — i resursosberegajushhej tehniki i tehnologii proizvodstva jekstrudirovannyh kormov s ul'tradispersnymi chasticami na osnove syr'ja orenburgskoj oblasti [Practical recommendations for the introduction into agricultural production of the Orenburg region of the innovative development of energy and resource-saving equipment and technology for the production of extruded feed with ultrafine particles based on raw materials from the Orenburg region] / A.G. Belov, S.V. Kishkilev, D.V. Naumov. — Orenburg: Publishing Center of OSAU, 2019 — 20 p. [in Russian]
8. Sychev V.V. Termodinamicheskie svojstva azota [Thermodynamic properties of nitrogen] / V.V. Sychev [et al.] — M.: Standards Publishing House, 1977 — 352 p. [in Russian]
9. Anciferov S.I. Proektirovanie molotkovoj drobilki SMD-97A s razlichnymi variantami ispolnenija molotkov [Design of the SMD-97A hammer crusher with various versions of hammers] / S.I. Anciferov // Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh statej [Interuniversity collection of scientific articles]. — 2017. — P. 324-330. [in Russian]
10. Titov V.A. Programmno-matematicheskij kompleks dlja sozdanija special'nyh zubchatyh peredach izmel'chitelej [Software and mathematical complex for creating special gears for grinders] / V.A. Titov // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. — 2011. — № 6. — P. 246-251. [in Russian]
11. Alekseev S.A. Osnovnye tendencii obespechenija kormami molochnogo skotovodstva [Main trends in providing feed for dairy cattle breeding] / S.A. Alekseev // Jekonomika, trud, upravlenie v sel'skom hozjajstve [Economics, labor, management in agriculture]. — 2020. — № 3. — P. 110-114. [in Russian]
12. Alekseev S.A. Osnovnye napravlenija razmeshhenija i specializacii sel'skogo hozjajstva Rossii [Main directions of placement and specialization of Russian agriculture] / S.A. Alekseev, A.I. Altuhov, L.B. Vinnichek [et al.] — M.: Sam poligrafist, 2020 — 152 p. [in Russian]
13. Alekseev S.A. Sozdanie specializirovannyh zon proizvodstva produkcii skotovodstva i kormovoj bazy dlja krupnogo rogatogo skota [Creation of specialized zones for the production of livestock products and feed for cattle] / S.A. Alekseev //

Regional'nye problemy ustojchivogo razvitija sel'skoj mestnosti [Regional problems of sustainable development of rural areas]. — Penza: RIO PGAU, 2019. — P. 19-22. [in Russian]

14. Kosolapova V.G. Jefferktivnost' «Rumistarta» dokazana na praktike [The effectiveness of “Rumistart” has been proven in practice] / V.G. Kosolapova // Zhivotnovodstvo Rossii [Animal husbandry of Russia]. — 2019. — № 5. — P. 42-43. [in Russian]

15. Akhmetov T.M. Characteristics of dairy productivity of holstein heifers depending on their 0 genetic potential / T.M. Akhmetov, N.Yu. Safina, Sh.K. Shakirov // Bio web of conferences. — 2020. — P. 105.

16. Popov V.V. Gidroponnyj korm: dostoinstva i nedostatki, kachestvo i jefferktivnost' [Hydroponic feed: advantages and disadvantages, quality and efficiency] / V.V. Popov // Adaptivnoe kormoproizvodstvo [Adaptive feed production]. — 2019. — № 3. — p. 86. [in Russian]