

**ПРОБЛЕМЫ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ
ВИБРАЦИОННЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ КОРМОВОГО ЗЕРНА****ISSUES OF DESIGN MODERNIZATION OF VIBRATING FEED GRAIN GRINDERS**

Ключевые слова: *измельчение, дробилки, конструкция, совершенствование, кормовое зерно, вибрация.*

Одним из наиболее важных факторов повышения эффективности производства продукции животноводства является снижение затрат на приготовление корма. В современных рыночных условиях сельскохозяйственное производство ориентировано на энерго- и ресурсосбережение. Самым распространенным способом подготовки зерна к скармливанию в настоящее время является его измельчение. Оборудование для осуществления этой операции еще столь несовершенно, что на само преодоление сил молекулярного сцепления материала для разделения его кусков на части затрачивают даже в самых лучших конструкциях измельчающих устройств только малую часть от всей расходуемой на работу машины энергии. В настоящее время на животноводческих фермах, различных перерабатывающих предприятиях, комбикормовых заводах активно используются вибрационно-щековые измельчители. Отмечая их достоинства, такие как высокая производительность, технологичность, стабильность работы, нельзя не выделить ряд существенных недостатков. На данный момент спектр измельчающих устройств довольно широк и характеризуется разнообразием конструктивных решений. Выбор конкретного конструктивного решения для нужд производственного предприятия зависит от целей и задач, которые ставят перед собой сельхозпроизводители при кормлении животных. С научной точки зрения интерес представляют модернизация существующих и разработка новых измельчающих устройств. Целью работы являются анализ существующих конструкций и поиск перспективных направлений их совершенствования. Приведены результаты обзора конструкций вибрационных измель-

чителей кормового зерна, разрабатываемых для сфер агропромышленного комплекса. Рассмотрены основные проблемы совершенствования конструкций, определены направления научного исследования.

Keywords: *grinding, grinders, design, improvement, feed grain, vibration.*

One of the most important factors in improving the efficiency of livestock production is to reduce the costs of feed preparation. Under modern market conditions, agricultural production is focused on energy and resource saving. Currently, the most common way to prepare grain for feeding is to grind it. The equipment for performing this operation is still so imperfect that only a small part of the total energy consumed by the machine is spent on overcoming the forces of molecular adhesion of the material to separate its pieces into parts, even in the best designs of grinding devices. Currently, vibratory jaw grinders are actively used on livestock farms, various processing plants, and feed mills. Noting their advantages, such as high productivity, manufacturability, and stability of operation, it is impossible not to highlight a number of significant disadvantages. At the moment, the range of shredding devices is quite wide and is characterized by a variety of design solutions. The choice of a specific design solution for the needs of a manufacturer enterprise depends on the goals and objectives that farmers set themselves when feeding animals. From a scientific point of view, it is of interest to modernize existing and develop new shredding devices. The research goal is to analyze the existing structures and search for promising areas for their improvement. The findings of a review of the designs of vibrating feed grain grinders developed for the fields of the agro-industrial complex are discussed. The main problems in the design improvement are considered, and the directions of research are determined.

Кардашевский Евгений Евгеньевич, аспирант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: www.eka-334@mail.ru.

Левин Алексей Михайлович, к.т.н., докторант, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: Lev-alex@mail.ru.

Федоренко Иван Ярославович, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: IJFedorenko@mail.ru.

Kardashevskiy Evgeniy Evgenevich, post-graduate student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: www.eka-334@mail.ru.

Levin Aleksey Mikhaylovich, Cand. Tech. Sci., doctoral student, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Science, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: lev-alex@mail.ru.

Fedorenko Ivan Yaroslavovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: ijfedorenko@mail.ru.

Введение

Измельчение фуражного зерна является одним из ключевых технологических процессов при приготовлении кормов. Несмотря на наличие в современной литературе значительного числа описаний различных способов его дробления и размола, оптимального технического оснащения этих операций все еще не достигнуто.

В условиях конкуренции на зерновом рынке в России и мире важнейшее значение имеют ресурсы предприятий АПК, что обуславливает, с одной стороны, актуальность разработки технологий энергосбережения и сокращения расхода металла, а с другой, – постоянный рост требований к качеству измельчения зерна.

Таким образом, для реализации комплекса мер по ресурсо- и энергосбережению на предприятиях АПК и создания эффективного сельского хозяйства в целом необходимо осуществлять разработку измельчителей зерна, значимо превосходящих предыдущие образцы по техническим и экономическим параметрам, а также отличающихся более эргономичной конструкцией и применением современных методов виброактивации. Такими измельчителями могут стать вибрационные машины, разработка которых ведется в Алтайском ГАУ.

Качественные показатели работы вибрационного измельчителя определяются особенностями конструкции и технологическими параметрами. От них зависит эффективность работы устройства, описываемая в категориях производительности, энергоемкости, удельной металлоемкости, а также гранулометрический состав продуктов размола зерна.

К видам измельчения зернового материала исследователи традиционно относят помол и дробление, различающиеся размером получаемой фракции [1]. Так, при помоле размер частиц значительно меньше, чем при дроблении (рис. 1). Необходимо отметить, что технология помола производит большое количество мучной фракции, что является нежелательным эффектом при производстве кормов для крупного рогатого скота и других животных.

В силу того, что получаемый мучнистый продукт не удовлетворяет зоотехническим требованиям к производству кормов и может быть использован исключительно для процессов гранулирования, технология помола здесь применяется весьма редко.

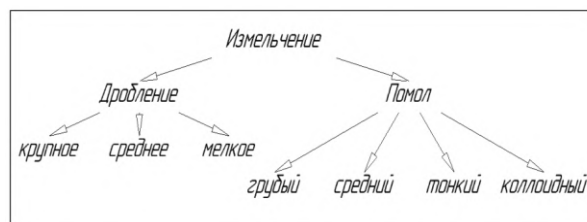


Рис. 1. Описание основных процессов измельчения

Наиболее адекватным способом обработки фуражного зерна в кормопроизводстве выступает дробление с помощью измельчающих машин, конструкции которых за последние несколько десятилетий претерпели значительные изменения.

Первые исследования вибрационного способа дробления были проведены на минеральном сырье в Ленинградском институте механической обработки полезных ископаемых «Механобр» [2].

Механобр приступил к практическому созданию конусных инерционных дробилок (КИД) в 1948 г. по инициативе К.А. Рундквиста и А.И. Кириченко. Однако первые опыты в этом направлении положительных результатов не принесли, так как теоретические основы расчета дробилок обычного типа оказались неприемлемыми для инерционных дробилок, отличающихся исключительно высокими знакопеременными динамическими нагрузками.

Совершенно новый подход к методике расчета конструктивно-режимных параметров дробилок был предложен И.И. Блехманом и А.К. Рундквистом. Исследователями успешно были решены такие непростые задачи, как совершенствование динамических показателей устройства, разработка новых принципов рационального анализа камер дробления, увеличение прочности и надежности узлов и деталей.

В результате модернизации устройства, а также уточнения технологических режимов применительно к различным видам перерабатываемых материалов и вторичного сырья была осуществлена разработка промышленных образцов инерционных дробилок разного размера – от самого малого (КИД 60) до крупного (КИД-2200).

Высокая степень дробления инерционных дробилок при внутрислойном разрушении материала обеспечивает им ряд существенных преимуществ перед традиционными видами оборудования, а в некоторых случаях (например, при необходимости измельчения сверхтвердых ма-

териалов до тонкодисперсной крупности) делает их применение единственно возможным и целесообразным. В режимах сверхтонкого внутрислойного дробления в инерционных дробилках, по сравнению с эксцентриковыми, удалось снизить удельные энергозатраты на единицу степени дробления в 1,5 раза, а на прирост вновь образованной поверхности – в 2 раза. В то же время потребление электроэнергии на 1 т перерабатываемого материала снизилось почти в 2 раза [2, 3].

Исследователи И.Я. Федоренко и А.М. Левин считают главным достоинством современных вибрационных дробилок динамическую уравновешенность системы, которая позволяет разрабатывать простые конструкции устройств без массивного основания [1]. Также из преимуществ вибрационных дробилок можно выделить способность пропускать недробимые тела через камеру дробления, снижение энергоемкости процессов дробления. Поэтому вибрационные дробилки очень перспективны для модернизации и создания новых конструкций.

Первые теоретические и экспериментальные исследования вибрационного измельчения зерна были проведены в Алтайском ГАУ и Казанской ГСХА [1, 4-7].

О.Ю. Маркин в своем диссертационном исследовании разработал конструкцию конусной вибрационной дробилки с упругим дебалансным валом, предназначенной для измельчения зерновых материалов (рис. 2).

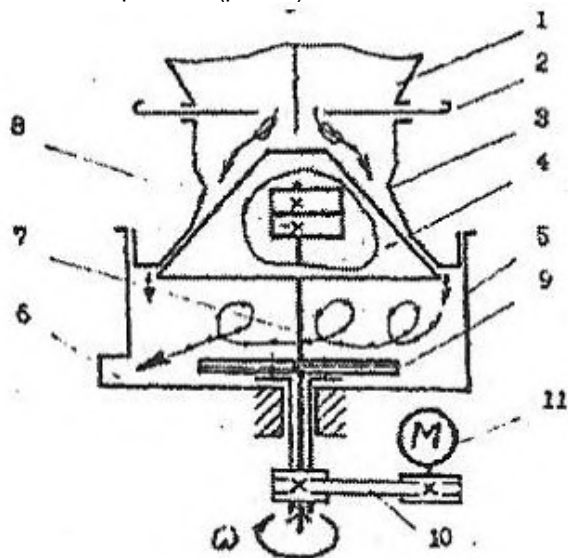


Рис. 2. Устройство конусной вибрационной дробилки

Экспериментальная установка содержит: корпус 1, наружный конус 2, соединительное

кольцо 3, внутренний конус 4, хвостовик которого 5 связан сферическим подшипником 6 с втулкой 7, укрепленной на валу 8 привода. Привод выполнен в виде червячной передачи 9 и связан с электродвигателем 10 через фрикционную муфту 11 [8].

По итогам обработки результатов экспериментального применения устройства было доказано, что производительность дробилки снижается при увеличении влажности до 12%, а также после 5000 мин.⁻¹ дебалансного вала. Причиной снижения являются процессы виброкипения зернового материала в зеве дробилки, при которых зерновой материал выбрасывается внутренним конусом, совершающим высокочастотные колебания. Высокие обороты рабочего органа, рекомендуемые автором, не позволили внедрить машину в производство.

В Алтайском ГАУ еще ранее И.Я. Федоренко и С.Н. Васильев предложили иную конструкцию измельчителя (рис. 3).

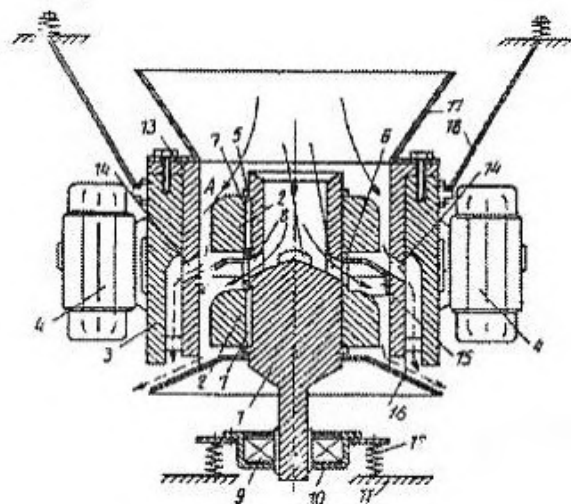


Рис. 3. Конструкцию измельчителя. Патент № 1540722 (Алтайский ГАУ)

Дробилка для измельчения зерна состоит из вала 1, на него надеты два конических вальца 2, а также корпуса 3 и вибровозбудителей 4. Вал в верхней части выполнен пустотелым и содержит окна 8, что позволяет через него загружать первичным материалом вторую камеру дробления Б. Хвостовой частью вал 1 установлен с возможностью самоцентрирования в подшипник 9 качения, опора 10 которого связана с опорной рамой 11 посредством упругих элементов 12. Из-за явления самосинхронизации вибраторы вращаются в синхронно-синфазном режиме, сообщая корпусу 3 вместе с закрепленными на нем деталями (декой 13, направляющими та-

релками 15, 16, бункером 17) круговые колебания в горизонтальной плоскости, которые передаются на вал с вальцами, вызывая интенсивную обкатку последних по внутренней поверхности сменной деки 15. Попадаемый самотеком в зоны дробления А, Б первичный материал подвергается разрушению и высыпается на направляющие тарелки 15, 16, по которым и отводится [9].

Натурный образец этого измельчителя показал хорошую работу на хрупком минеральном сырье (например, бой красного кирпича), однако работа на зерновом сырье сопровождалась не-

устойчивостью процесса, периодическим недоизмельчением или переизмельчением зерна. В результате испытаний этого измельчителя был сделан важнейший вывод: причиной неудачи явилось сложное нагружение зерновок, включающее сжатие и сдвиг. Вибрационные измельчители должны быть обеспечены рабочими органами, осуществляющими только деформацию сжатия [12].

На основе этих рекомендаций появился новый вариант измельчителя (рис. 4) (патент № RU2262984C2: И.Я. Федоренко, А.М. Левин, М.Г. Желтунов.

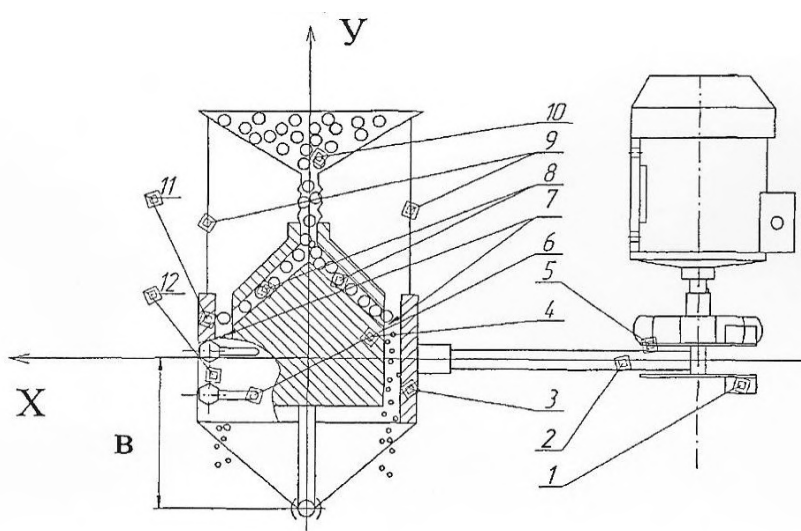


Рис. 4. Конструктивная схема вибрационно-ударного измельчителя фуражного зерна

В конструкцию измельчителя входят: дебаланс 1, маятник вибровозбудителя 2, диск крепления дебаланса 3, корзина 4, молот 5, регулировочные отверстия 6, камеры измельчения 7, разветвляющийся канал 8, поддерживающие элементы (трос) 9, загрузочный бункер 10.

В начале работы устройства дебалансный маятник 2 генерирует переменную возмущающую силу, в результате чего создаются колебательные движения корзины 3 и молота 4 с определенной амплитудой. Далее из бункера 10 подается зерновой материал, продвигающийся в камеры размельчения 7 по разветвляющемуся каналу 8. Одновременно на зерно оказывает механическое воздействие ударная нагрузка. Измельченный материал самотеком вытекает из зоны измельчения, попадая в приемный бункер.

Это была первая работоспособная конструкция вибрационного измельчителя кормового зерна, положенная в основу кандидатской диссертации А.М. Левина [10, 13, 15, 17-19].

В настоящее время разработано еще две конструкции (рис. 5, 6).

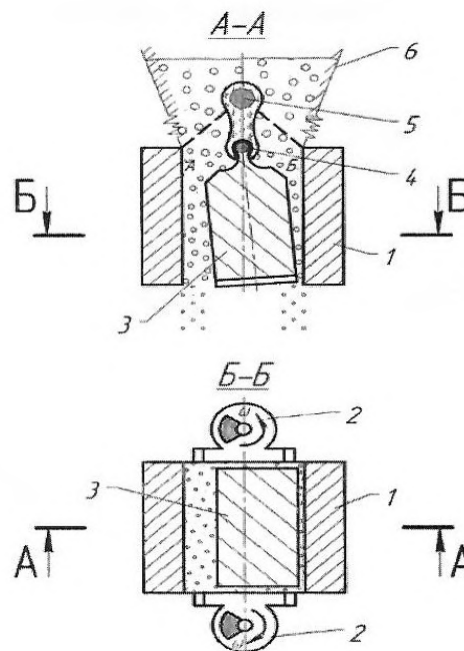


Рис. 5. Конструкция измельчителя зерна по патенту № RU 2004104763

Конструкция дробилки включает: дебаланс 1, маятник вибровозбудителя 2, молот 3, крепление 4, регулировочная отверстие 5, бункер 6.

На рисунках 6, 7 представлены конструкция и общий вид вибрационно-щекового измельчителя кормового зерна, защищенного авторским правом (Патент RU 2022112164 от 04.05.2022 г.).

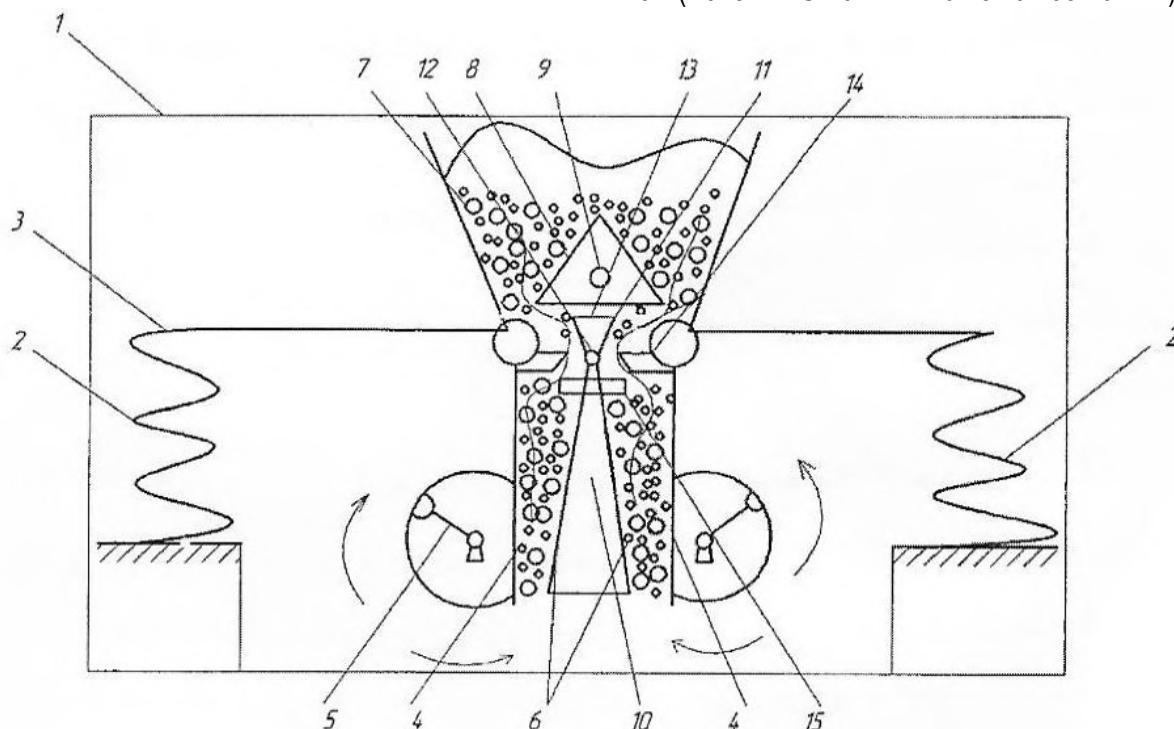


Рис. 6. Конструктивная схема вибрационно-щекового измельчителя кормового зерна



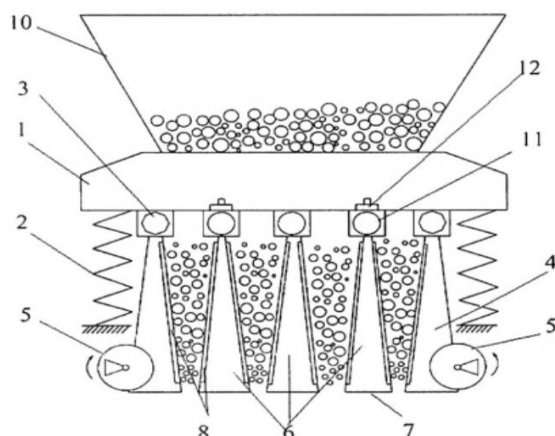
Рис. 7. Общий вид экспериментальной установки

Рассматриваемое изобретение эффективно решает задачу увеличения производительности дробилки при уменьшении энергетических затрат. Это достигается благодаря интенсификации равномерной подачи зернового материала с обеих сторон маятниковой щеки в камеры из-

мельчения, а также уменьшению количества дробящих щек.

На рисунке 8 представлена вибрационно-щековая дробилка, разработанная в 2020 г. И.Я. Федоренко и А.М. Левиным (Патент RU 2759864 от 21.12.2020 г.). Конструкция включает пружинные опоры, корпус, к которому подвеше-

ны активные дробящие щеки, приводные вибро-возбудители и вместительный загрузочный бункер.



**Рис. 8. Вибрационно-щековая дробилка
RU 2759864**

Отметим, что основной проблемой изобретения является относительно низкий уровень производительности при высоких энергозатратах, обусловленных большим количеством активных дробящих щек.

Однако трансформация конструкции путем уменьшения числа щек приводит к сужению выпускного отверстия бункера, из-за чего происходит застревание в горловине бункера зерна, у которого незначительно превышены показатели влажности.

Выводы

В результате проведенного анализа удалось установить, что в области разработки вибрационных измельчителей кормового зерна за последние годы сделан значительный шаг. Созданы конструкции небольшой производительности, которые показывают преимущества перед молотковыми дробилками как в энергозатратах, так и в структуре получаемого продукта, в большей степени отвечающего физиологии овец, коз, КРС, лошадей.

Из предложенных конструкций наиболее перспективны вибрационный измельчитель, представленный на рисунке 5, а также измельчитель по схеме рисунка 8. Они имеют двойной самосинхронизированный привод, простейшие конструкции.

Главной задачей для всех вибрационных измельчителей является повышение производительности. На это должны быть направлены усилия конструкторов и научных работников.

Библиографический список

1. Патент РФ № RU2759864C1. Вибрационно-щековая дробилка для измельчения зернового материала / Федоренко И. Я., Левин А. М. – № 2020142291; заявл. 2020-12-21; опубл. 2021-11-18, Бюл. № 32. 9 с. – Текст: непосредственный.
2. Рундквист, К. А. Теория вибрационной техники и технологии / К. А. Рундквист, А. И. Кириченко. – Москва: Наука, 1948. – 319 с. – Текст: непосредственный.
3. Патент РФ № RU 2022112164. Вибрационно-щековая дробилка / Федоренко И. Я., Левин А. М., Кардашевский Е. Е. – № 2022112164; заявл. 2022-05-04; опубл. 2023-01-12. – 5 с. – Текст: непосредственный.
4. Патент № 2688424(РФ). Измельчитель зернового материала / Федоренко И. Я., Левин А. М., Табаев А. В. – № 2018105815; заявл. 15.02.2018, опубл.: 21.05.2019, Бюл. № 15. – 4 с. – Текст: непосредственный.
5. Федоренко, И. Я. Инновационные конструкции вибрационных дробилок фуражного зерна / И. Я. Федоренко, А. М. Левин, А. В. Табаев. – Текст: непосредственный // Главный агроном. – 2020. – № 5. – С. 63-67.
6. Бауман, В. А. Вибрационные машины и процессы / В. А. Бауман, И. И. Быховский. – Москва: Высшая школа, 1977. – 255 с. – Текст: непосредственный.
7. Туркин, В. Я. Основные направления совершенствования вибрационных щековых дробилок / В. Я. Туркин, М. Ю. Тягушев, Р. А. Саблин – Текст: непосредственный // Записки горного института. – 2007. – С. 77-79.
8. Патент РФ № RU2031707C1. Конусная инерционная дробилка / Маркин О. Ю., Маркин Ю. С. – № 4914297/33; заявл. 1991-25-02; опубл. 1995-27-03; заявитель проектная контора «Татагропромтехпроект». – 4 с. – Текст: непосредственный.
9. Патент СССР № SU1540722 A1. Инерционная дробилка / Федоренко И. Я., Земсков В. И., Васильев С. Н. – заявл. 1987-03-11; опубл. 1990-07-02. – 2 – Текст: непосредственный.
10. Перспективные направления совершенствования конструкций виброинерционных дробилок / Р. М. Бабаев, М. Ю. Тягушев, СВ. Казаков, Р.А. Саблин. – Текст: непосредственный // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 5. – С. 11-14.

11. Саблин, Р. А. Энергосберегающие щековые дробилки / Р. А. Саблин. – Текст: непосредственный // Народное хозяйство республики КОМИ. – 2007. – Т. 16. – С. 138-140.

12. Федоренко, И. Я. Морфологический анализ вибрационных измельчителей кормового зерна / И. Я. Федоренко, А. М. Левин, А. В. Табаев. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1 (183). – С. 156-163.

13. Вайсберг, Л. А. Дробильно-измельчительное оборудование вибрационного действия для переработки сырья и промышленных отходов / Л. А. Вайсберг, А. Н. Сафронов. – Текст: непосредственный // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23, № 7. – С. 4-9.

14. Блехман, И. И. Теория вибрационных процессов и устройств / И. И. Блехман. – Санкт-Петербург: Руда и металлы, 2013. – 639 с. – С. 36. – Текст: непосредственный.

15. Вайсберг, Л. А. Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения / Л. А. Вайсберг, Л. П. Зарогатский, В. Я. Туркин. – Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕНЕИ, 2004. – 306 с. – Текст: непосредственный.

16. Заика, П. М. Динамика вибрационных зерноочистительных машин / П. М. Заика. – Москва: Машиностроение, 1977. – 278 с. – Текст: непосредственный.

17. Быховский, И. И. Основы теории вибрационной техники / И. И. Быховский. – Москва: Машиностроение, 1969. – С. 7. – Текст: непосредственный.

18. Левин, А. М. Обоснование конструктивно-кинематических параметров вибрационно-ударного измельчителя фуражного зерна / А. М. Левин. – Текст: непосредственный // Молодежь Барнаулу: материалы научно-практической конференции, Барнаул, 22-23 ноября 2004 г. – Барнаул: АзБука, 2004. – С. 296-298.

19. Левин, А. М. Обоснование конструктивно-режимных параметров вибрационно-ударного измельчителя фуражного зерна: диссертация на соискание ученой степени кандидата техни-

ческих наук. – Барнаул, 2005 – 217 с. – URL: <https://www.dissercat.com/content/obosnovanie-konstruktivno-rezhimnykh-parametrov-vibratsionno-udarnogo-izmelchatelya-furazhno-yysclid=lw7o3gctmt815101610/read>. – Текст: электронный.

References

1. Pat. RF No. RU2759864C1, Fedorenko I.Ia., Levin A.M. Zaiavlen 2020-12-21, opublikovan 2021-11-18.

2. Rundkvist K.A., Kirichenko A.I. Teoriia vibratsionnoi tekhniki i tekhnologii. Moskva: Nauka, 1948. 319 s.

3. Pat. RF No. RU 2022112164, 04.05.2022, Fedorenko I.Ia., Levin A.M., Kardashevskii E.E., Zaiavlen 2022-05-04, opublikovan 2023-01-12.

4. Patent No. 2688424 (RF). Izmelchitel zernovogo materiala / Fedorenko I.Ia., Levin A.M., Tabaev A.V. – Zaiavl. 15.02.2018, opubl.: 21.05.2019, Biul. No. 15.

5. Fedorenko, I.Ia. Innovatsionnye konstruksii vibratsionnykh drobilok furazhnogo zerna / I.Ia. Fedorenko, A.M. Levin, A.V. Tabaev // Glavnyi agronom. – 2020. – No. 5. – S. 63-67.

6. Bauman V.A., Bykhovskii I.I. Vibratsionnye mashiny i protsessy. Moskva: Vyssh. shkola, 1977. – 255 s.

7. Turkin, V.Ia. Osnovnye napravleniia sovershenstvovaniia vibratsionnykh shchekovykh drobilok / V.Ia. Turkin, M.Iu. Tiagushev, R.A. Sablin // Zapiski gornogo instituta. – 2007. – S. 77-79.

8. Pat. RF No. RU2031707C1, Markin O.Iu., Markin Iu.S. Zaiavlen 1991-25-02, opublikovan 1995-27-03.

9. Pat. SSSR No. SU1540722 A1, Fedorenko I.Ia., Zemskov V.I., Vasilev S.N. Zaiavlen 1987-03-11, opublikovan 1990-07-02.

10. Babaev, P.M. Perspektivnye napravleniia sovershenstvovaniia konstruksii vibroinertsionnykh drobilok / P.M. Babaev, M.Iu. Tiagushev, S.V. Kazakov, R.A. Sablin // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2008. – No. 5. – S. 11-14.

11. Sablin, R.A. Energoberegaiushchie shchekovye drobilki / R.A. Sablin // Narodnoe

khoziaistvo respubliki KOMI. – 2007. – Т. 16. – S. 138-140.

12. Fedorenko, I.Ia. Morfologicheskii analiz vibratsionnykh izmelchitelei kormovogo zerna / I.Ia. Fedorenko, A.M. Levin, A.V. Tabaev // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – No. 1 (183). – S. 156-163.

13. Vaisberg, L.A. Drobilno-izmelchitelnoe oborudovanie vibratsionnogo deistviia dlia pererabotki syria i promyshlennykh otkhodov / L.A. Vaisberg, A.N. Safronov // Ekologiya i promyshlennost Rossii. – 2019. – Т. 23, No. 7. – S. 4-9.

14. Blekhan, I.I. Teoriia vibratsionnykh protsessov i ustroistv, 2013. – S. 36.

15. Vaisberg, Leonid Abramovich. Vibratsionnye drobilki. Osnovy rascheta, proektirovaniia i tekhnologicheskogo primeneniia / L.A. Vaisberg, L.P. Zarogatskii, V.Ia. Turkin. – Sankt-Peterburg: Izd-vo VSENEI, 2004. – 306 s.

16. Zaika P.M. Dinamika vibratsionnykh zernochistitelnykh mashin. – Moskva: Mashinostroenie, 1977. – S. 278.

17. Bykhovskii I.I. Osnovy teorii vibratsionnoi tekhniki. Moskva: Mashinostroenie. – S. 7.

18. Levin A.M. Obosnovanie konstruktivno-kinematcheskikh parametrov vibratsionno-udarnogo izmelchitelia furazhnogo zerna // Molodezh Barnaulu: Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii (22-23 noiabria). Barnaul: AzBuka, 2004. S. 296-298.

19. Levin A.M. Obosnovanie konstruktivno-rezhimnykh parametrov vibratsionno-udarnogo izmelchitelia furazhnogo zerna: Dis. kand. tekhn. nauk 2005 <https://www.dissercat.com/content/obosnovanie-konstruktivno-rezhimnykh-parametrov-vibratsionno-udarnogo-izmelchitelya-furazhno?ysclid=Iw7o3gctmt815101610/read>.

