

Научная статья

УДК 631.363.25

DOI 10.48012/1817-5457\_2024\_3\_144-150

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ОТВЕРСТИЙ СЕПАРИРУЮЩЕГО РЕШЕТА НА ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ ЗЕРНА

Федоров Олег Сергеевич✉, Ширококов Владимир Иванович,  
Соболева Елена Николаевна

Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия

✉fos1973@yandex.ru

**Аннотация.** Основной технологической операцией при изготовлении комбинированных кормов является измельчение. Для этого в основном используются молотковые дробилки «открытого» типа, в которых процесс измельчения и сепарации происходит в разных камерах. В качестве сепарирующих поверхностей, как правило, используются пробивные решета с круглыми отверстиями. Наиболее эффективным является использование решет с квадратными отверстиями, имеющими коэффициент «живого сечения» больший, нежели у решет с круглыми отверстиями. Целью исследований является определение закономерностей рабочего процесса молотковой дробилки зерна при использовании циклонов-сепараторов с различной геометрической формой отверстий сепарирующих решет. Для проведения лабораторных исследований изготовлен циклон-сепаратор с возможностью замены сепарирующих решет с различными геометрическими отверстиями. В качестве измельчаемого зерна использовались зерна ячменя сортов Сонет, Раушан, зерна пшеницы сорта Ирень. В результате исследований установлено, что в случае использования сепарирующих решет с квадратными отверстиями увеличение модуля помола составляет около 30 %, при соответствии модуля помола для всех групп сельскохозяйственных животных. Использование сепарирующих решет с квадратными отверстиями позволило снизить удельные энергозатраты на 38 %. Исследования, направленные на определение сыпучести измельчаемого зерна, показали, что пропускная способность бункера дробилки повышается на 12 % при уменьшении угла естественного откоса сыпучего зернового материала с  $\varphi = 35...40^\circ$  до  $\varphi = 30...35^\circ$ . Полученные результаты предварительных исследований циклона-сепаратора с пробивными квадратными отверстиями указывают на то, что использование данного типа решет оказывает существенное влияние на технологические показатели работы дробилки зерна и для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров требуются дальнейшие исследования.

**Ключевые слова:** сепарирующее решето, модуль помола, молотковая дробилка, дерть.

**Для цитирования:** Федоров О. С., Ширококов В. И., Соболева Е. Н. Исследование влияния геометрической формы отверстий сепарирующего решета на параметры работы молотковой дробилки зерна // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3(79). С. 144-150. [https://doi.org/10.48012/1817-5457\\_2024\\_3\\_144-150](https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_3_144-150).

**Актуальность.** Анализ динамики потребления всех видов мяса на душу населения в России за последние годы показывает, что постоянный ежегодный рост составляет 5...7 %. В 2023 г. потребление мяса составило 79 кг на человека, и несложно спрогнозировать, что в 2024 г. этот показатель составит примерно 81 кг и продолжит дальнейший рост. Если рассматривать структуру потребления, то 35,0 % составляет мясо птицы, свинина – 29,8 %, говядина – 12,3 %, баранина – 1,5 %, и 21,4 % другие виды мяса.

Кроме того, доля экспорта мяса и субпродуктов в 2022 г. составила 500 тыс. т и впервые превысила долю импорта мяса [5]. Крупней-

шими потребителями российской продукции являются: Белоруссия, Китай, Казахстан, Саудовская Аравия, Вьетнам. Устойчивая тенденция к росту потребления мясной продукции в этих странах будет способствовать продолжению дальнейшего роста экспорта из России.

Для сохранения таких темпов роста необходимо обеспечивать стабильное качество выпускаемой продукции, а это в первую очередь связано с постоянным ростом качества и количества кормов.

Основу рациона сельскохозяйственных животных составляют различные корма – это объемистые (сено, силос, сенаж, корнеплоды и т.п.), концентрированные (зерно пшеницы, ячме-

ня, кукурузы и т.п.), а также комбинированные корма. Многочисленными исследованиями установлено, что использование высококачественных комбинированных кормов позволяет значительно повышать качество конечной продукции путем точного корректирования рациона кормления за счет удобного ввода в состав необходимого количества белков, жиров, минеральных компонентов, витаминов, стимулирующих добавок и т.д. Особенно важно использование комбинированных кормов в мясном животноводстве. Например, в структуре рациона кормления свиней доля комбинированных кормов доходит до 75 %, а при производстве мяса птицы – до 90 % [1].

По данным Минсельхоза РФ за 2023 г., прирост производства комбинированных кормов по сравнению с 2022 г. в среднем составил около 4 %. Наибольший прирост в 6 % отмечен при производстве кормов для свиней и по 3 % для КРС и сельскохозяйственной птицы [5].

Как известно, доля себестоимости кормов при производстве продукции животноводства составляет 65...70 % [7].

В России при производстве условной единицы животноводческой продукции затрачивается в два раза больше кормов по сравнению с западными странами. Например, доля зерновой части комбинированных кормов в США не превышает 50 %, в то время как в отечественных кормах доходит до 70 % [8]. Это снижает рентабельность производства и снижает конкурентоспособность продукции на внешних рынках.

Следовательно, для улучшения этих показателей необходимо стремиться к снижению доли дорогостоящей зерновой части путем использования качественного исходного зерна с последующей более глубокой переработкой (качественное измельчение, получение кормовых аминокислот и других ингредиентов), а также постоянно наращивать производство собственных белково-минерально-витаминных добавок (БМВД) к комбинированным кормам.

Для производства широкой номенклатуры производимых комбинированных кормов и БМВД необходимо использовать большое количество специализированных машин (дробилки, дозаторы, смесители, транспортеры и т.п.). Кроме того, конструкция оборудования должна иметь возможность удобного регулирования технологических параметров [4, 6, 9–11].

Основной технологической операцией при производстве зерновой части комбинированных кормов является измельчение зерна, при этом должен обеспечиваться необходимый

средний диаметр частиц (модуль помола), удовлетворяющий требованиям ГОСТа для определенной группы сельскохозяйственных животных, при минимальном количестве пылевидной фракции.

**Цель работы** – исследование рабочего процесса молотковой дробилки зерна при использовании циклонов-сепараторов с различной геометрической формой отверстий сепарирующих решет.

#### **Задачи исследований:**

– проведение лабораторных исследований пропускной способности дробилки зерна в зависимости от ширины выгрузного окна бункера и эквивалентного диаметра измельчаемого зерна;

– проведение лабораторных исследований удельных энергозатрат при измельчении зерна в зависимости от пропускной способности дробилки зерна и геометрической формы отверстий сепарирующего решета;

– проведение лабораторных исследований модуля помола измельчаемого зерна в зависимости от пропускной способности дробилки зерна и геометрической формы отверстий сепарирующего решета.

#### **Материал и методы исследования.**

В большинстве своем для измельчения зерна при производстве комбинированных кормов используются молотковые дробилки. Условно разделенные на дробилки «закрытого» и «открытого» типов, в дробилках первого типа процессы измельчения и сепарирования зерна совмещены в одной камере, а другой тип предполагает разделение технологических процессов, что способствует снижению энергозатрат и вероятности переизмельчения зерновой массы.

Многочисленные научные исследования указывают, что более рационально использовать дробилки «открытого» типа. Проведенный анализ работ ряда авторов [2–4] указывает на то, что рабочие органы и технологический процесс работы камеры измельчения считаются достаточно изученными и исследования в этом направлении практически не ведутся, и в современных исследованиях акцент в основном делается на разработке различных систем сепарации измельченного зерна, вынесенных за пределы камеры измельчения.

В работах [10, 11] рассмотрен технологический процесс работы модернизированной дробилки зерна на базе дробилки семейства КДУ.

Процесс сепарации измельченного зерна в модернизированном измельчителе перенесен в циклон-сепаратор (рис. 1). Разделение

ингредиентов воздушно-продуктовой смеси (дерти), состоящей из целых, недоизмельченных, достигших нужного размера зерен, происходит следующим образом: дерть подается во внутренний объем сепарирующего решета 2, после чего частицы, достигшие нужных размеров, проваливаются в зазор между решетом 2 и стенкой циклона 1 и выгружаются, а недоизмельченные частицы идут повторно в камеру измельчения.

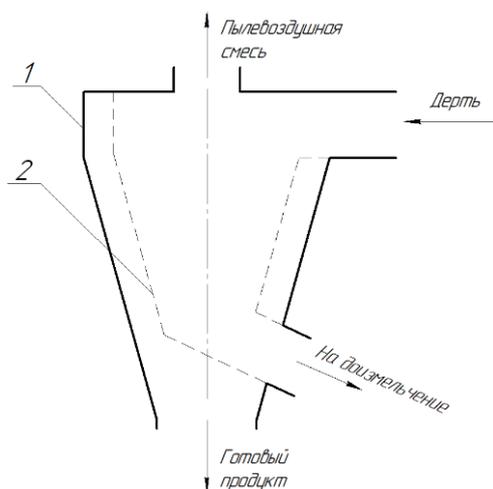


Рисунок 1 – Схема циклона-сепаратора молотковой дробилки зерна

Наружный корпус циклона изготавливается из горячекатаных стальных листов толщиной 1,0 мм (марка стали СтЗпс-5), для изготовления сепаратора используются пробивные решета из оцинкованного стального листа толщиной 0,5...1,0 мм (ГОСТ Р 58488-2019).

Наиболее часто применяются решета с круглой формой отверстий, однако, учитывая теоретическое условие гарантированного прохождения частиц сквозь отверстия сепарирующего решета, приведенное в работе [11],

следует, что вероятность прохождения частицы при квадратных отверстиях выше примерно на 20 %, чем при круглых.

Для исследования вышеприведенных теоретических предпосылок изготовлены сепарирующие решета с круглыми отверстиями диаметром 6 мм (рис. 2) и сепарирующие решета с квадратными отверстиями со стороной квадрата 6 мм (рис 3). Замена решет осуществлялась только в цилиндрической части сепаратора, поскольку там происходит до 80 % сепарации дерти, коническая часть обоих решет выполнена из перфорированного листа с круглыми отверстиями диаметром 6 мм.

Исходным материалом для исследований явились: зерна пшеницы сорта Ирень с относительной влажностью 25 %, эквивалентный диаметр зерна  $d_{экв} = 3,8$  мм, угол естественного откоса  $\varphi = 30...35^\circ$ , зерна ячменя сорта Сонет с относительной влажностью 25 %, эквивалентный диаметр зерна  $d_{экв} = 4,8$  мм, угол естественного откоса  $\varphi = 35...40^\circ$ , зерна ячменя сорта Раушан с относительной влажностью 25 %, эквивалентный диаметр зерна  $d_{экв} = 4,2$  мм, угол естественного откоса  $\varphi = 35...40^\circ$ .

В качестве средств измерения использованы: амперметр Д5017 (кл. т. 0,2) – для регистрации силы тока; вольтметр ТДМ В80П – для регистрации напряжения, весы лабораторные ВЛКТ-500Г-М – для определения массы проб, секундомер СДСпр.1 – для регистрации времени опыта; лабораторный классификатор – рассев проб.

При сепарации измельченного зерна одним из основных факторов, влияющих на энергозатраты и качество конечного продукта, является величина подачи зерна.

Пропускная способность бункера регулировалась путем изменения ширины выгрузного окна бункера (рис. 4).



Рисунок 2 – Лабораторный циклон-сепаратор молотковой дробилки зерна с круглыми отверстиями в сепарирующем решете



Рисунок 3 – Лабораторный циклон-сепаратор молотковой дробилки зерна с квадратными отверстиями в сепарирующем решете



Рисунок 4 – Устройство для регулирования ширины выгрузного окна бункера

Результаты экспериментальных исследований циклона-сепаратора при использовании сепарирующих решет с круглыми и квадратными отверстиями позволили определить следующие закономерности:

- зависимость удельных энергозатрат при измельчении зерна от пропускной способности дробилки зерна и геометрической формы отверстий сепарирующего решета (рис. 5);
- зависимость модуля помола измельчаемого зерна от пропускной способности дробилки зерна и геометрической формы отверстий сепарирующего решета (рис. 6).

Кроме того, определены зависимости пропускной способности дробилки зерна от ширины выгрузного окна бункера (рис. 7).

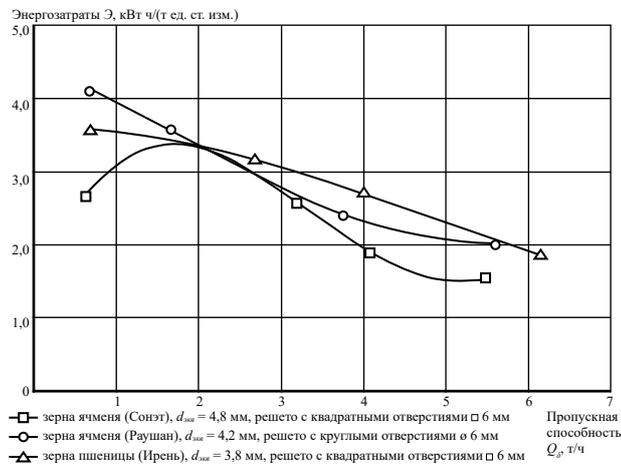


Рисунок 5 – Зависимости удельных энергозатрат при измельчении зерна от пропускной способности дробилки зерна и геометрической формы отверстий сепарирующего решета

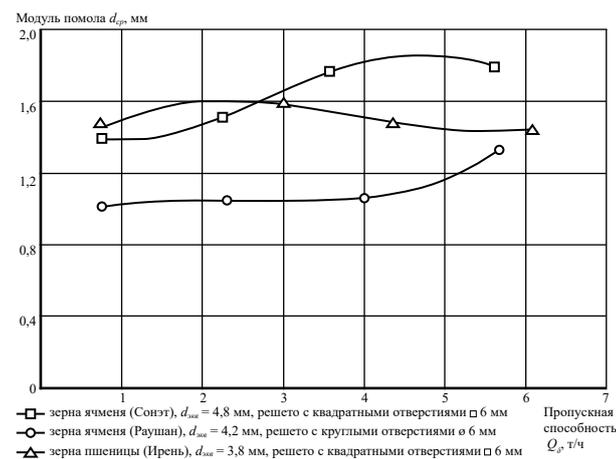


Рисунок 6 – Зависимости модуля помола измельчаемого зерна от пропускной способности дробилки зерна и геометрической формы отверстий сепарирующего решета

Проведенные исследования показали, что с увеличением пропускной способности

дробилки при измельчении зерновых культур разных сортов происходит снижение комплексного показателя энергозатрат.

В данном случае повышение пропускной способности дробилки при измельчении зерен ячменя сорта Сонет приводит к снижению удельных энергозатрат  $\mathcal{E} = 2,65...1,59$  кВт·ч/(т·ед.ст.изм.), для зерен ячменя сорта Раушан показатель удельных энергозатрат находится в пределах  $\mathcal{E} = 4,09...2,08$  кВт·ч/(т·ед.ст.изм.), а при измельчении зерен пшеницы сорта Ирень  $\mathcal{E} = 3,55...1,95$  кВт·ч/(т·ед.ст.изм.).

Основным показателем качества измельчения зерна дробильными установками является модуль помола  $d_{cp}$ . Проведенные исследования показали, что пропускная способность оказывает несущественное влияние на данный показатель.

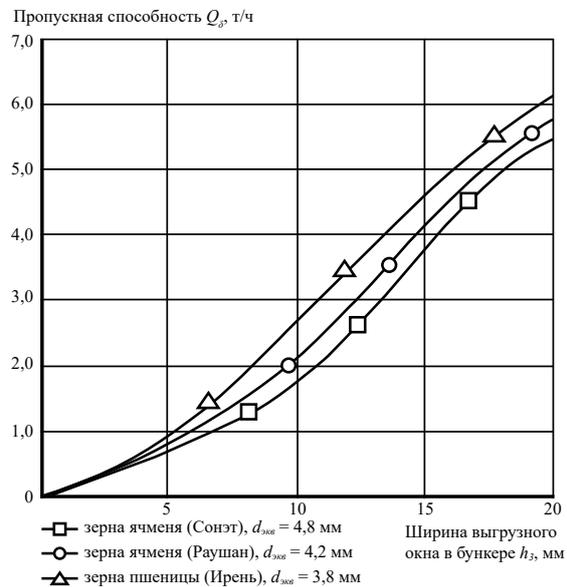


Рисунок 7 – Зависимости пропускной способности дробилки зерна от ширины выгрузного окна бункера и эквивалентного диаметра измельчаемого зерна

Модуль помола  $d_{cp}$  при измельчении зерен ячменя сорта Сонет  $d_{cp} = 1,41...1,68$  мм, для зерен ячменя сорта Раушан  $d_{cp} = 1,07...1,28$  мм, а при измельчении зерен пшеницы сорта Ирень  $d_{cp} = 1,43...1,52$  мм.

Наиболее значимым фактором является геометрическая форма отверстий решета, в случае использования квадратных отверстий прирост модуля помола составляет около 30 %.

Так как подача зерна в дробильную камеру осуществляется самотеком, то основной характеристикой, влияющей на пропускную способность бункера, является сыпучесть. Сыпу-

честь – это способность зерновой массы транспортироваться под действием силы тяжести. Величина сыпучести определяется углом естественного откоса зерна, который образуется при свободном насыпании зерна на горизонтальную поверхность между основанием насыпки и боковой поверхностью. Чем выше сыпучесть зерна, тем острее угол. Основное влияние на сыпучесть оказывает форма зерновки, шероховатость поверхности, влажность, средний диаметр частиц, засоренность и т.п.

В нашем случае максимальная пропускная способность бункера наблюдается при подаче зерен пшеницы сорта Ирень, эквивалентный диаметр зерна  $d_{экв} = 3,8$  мм, угол естественного откоса  $\varphi = 30...35^\circ$ . Примерно одинаковая пропускная способность бункера наблюдается при подаче зерен ячменя сорта Сонет, эквивалентный диаметр зерна  $d_{экв} = 4,8$  мм, угол естественного откоса  $\varphi = 35...40^\circ$ . Для сорта Раушан эквивалентный диаметр зерна  $d_{экв} = 4,2$  мм, угол естественного откоса  $\varphi = 35...40^\circ$ , что соответствует вышеприведенным определениям.

**Выводы.** В результате проведенных исследований установлено, что использование сепарирующих решет с квадратными отверстиями с размером стороны, равной 6 мм, по сравнению с сепарирующими решетками с круглыми отверстиями диаметром 6 мм позволяет получить больший на 30 % модуль помола. Использование сепарирующих решет с квадратными отверстиями приводит к 38 % снижению удельных энергозатрат. Пропускная способность бункера дробилки повышается на 12 % при уменьшении угла естественного откоса сыпучего зернового материала с  $\varphi = 35...40^\circ$  до  $\varphi = 30...35^\circ$ .

### Список источников

1. Кислякова Е. М. Интенсификация производства молока на основе прогрессивных приемов кормления коров в условиях Удмуртской Республики: спец. 06.02.08 «Кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных животных, технология кормов»: дис. ... д-ра с.-х. наук. Ижевск, 2018. 335 с.
2. Обоснование пропускной способности циклона-сепаратора для дробилок зерна / А. Г. Бастрогов, П. В. Дородов, О. С. Федоров, В. И. Ширококов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 4 (49). С. 44–51.
3. Патент № 2805857 С1 Российская Федерация, МПК В02С 13/00. Дробилка: № 2023108820: заявл. 07.04.2023; опубл. 24.10.2023 / А. В. Палицын, П. А. Савиных, В. Н. Шулятьев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образо-

вательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина».

4. Патент № 2813908 С1 Российская Федерация, МПК В02С 13/00. Молотковая дробилка для получения древесной муки: № 2023119209: заявл. 20.07.2023; опубл. 19.02.2024 / С. Ю. Булатов, В. А. Казаков, В. Н. Нечаев, П. А. Савиных; заявитель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

5. Потребление мяса в России в 2022...2023 годах [Электронный ресурс]. URL: <https://vetandlife.ru/sobytiya/potreblenie-myasa-v-rossii-vyshlo-na-rekordnye-79-kg-na-cheloveka-v-god/> (дата обращения: 07.05.2024).

6. Предварительные исследования вибродозатора сухих рассыпных кормов / В. А. Ширококов, О. С. Федоров, А. А. Мякишев, В. А. Петров // Технологические тренды устойчивого функционирования и развития АПК: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной году науки и технологии в России, Ижевск, 24–26 февраля 2021 г. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. Т. III. С. 68–72.

7. Сабиев У. К. Интенсификация технологических процессов приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: дис. ... д-ра техн. наук. Барнаул, 2012. 408 с.

8. Савиных П. А., Турубанов Н. В. Технико-экономическая оценка применяемых технологий и технических средств при приготовлении сбалансированных комбикормов в условиях Евро-Северо-Востока России // Вестник НГИЭИ. 2024. № 5 (156). С. 46–58.

9. Федоренко И. Я. Вибрационные процессы и устройства в АПК: монография. Барнаул: Алтайский ГАУ, 2016. 289 с.

10. Федоров О. С., Ширококов В. И., Голубков А. Н. Совершенствование молотковых дробилок открытого типа // Сельский механизатор. 2020. № 10. С. 26–27.

11. Ширококов В. И., Федоров О. С. Совершенствование конструкции зерновых молотковых дробилок // Актуальные проблемы механизации сельского хозяйства: материалы юбилейной научно-практической конференции 55 лет высшему агроинженерному образованию в Удмуртии, Ижевск, 03–04 декабря 2010 г. / редколлегия: П. Л. Максимов, А. Г. Иванов, О. С. Федоров. Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010. С. 16–19.

### References

1. Kislyakova E. M. Intensifikaciya proizvodstva moloka na osnove progressivnyh priemov kormleniya korov v usloviyah Udmurtskoj Respubliki: spec. 06.02.08

«Kormoproizvodstvo, kormlenie sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh, tekhnologiya kormov»: dis. ... d-ra s.-h. nauk. Izhevsk, 2018. 335 s.

2. Obosnovanie propusknoj sposobnosti ciklona-separatora dlya drobilok zerna / A. G. Bastrigov, P. V. Dorodov, O. S. Fedorov, V. I. Shirobokov // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2016. № 4 (49). S. 44–51.

3. Patent № 2805857 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK B02C 13/00. Drobilka: № 2023108820: zayavl. 07.04.2023: opubl. 24.10.2023 / A. V. Palicyn, P. A. Savinyh, V. N. Shulyat'ev [i dr.]; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Vologodskaya gosudarstvennaya molochnohozyajstvennaya akademiya imeni N. V. Vereshchagina».

4. Patent № 2813908 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK B02C 13/00. Molotkovaya drobilka dlya polucheniya drevesnoj muki: № 2023119209: zayavl. 20.07.2023: opubl. 19.02.2024 / S. Yu. Bulatov, V. A. Kazakov, V. N. Nechaev, P. A. Savinyh; zayavitel' Gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Nizhegorodskij gosudarstvennyj inzhenerno-ekonomicheskij universitet».

5. Potreblenie myasa v Rossii v 2022...2023 godah [Elektronnyj resurs]. URL: <https://vetandlife.ru/sobytiya/potreblenie-myasa-v-rossii-vyshlo-na-rekordnye-79-kg-na-cheloveka-v-god/> (data obrashcheniya: 07.05.2024).

6. Predvaritel'nye issledovaniya vibrodizatora suhikh rassypnyh kormov / V. A. Shirobokov, O. S. Fedorov,

A. A. Myakishev, V. A. Petrov // Tekhnologicheskie trendy ustojchivogo funkcionirovaniya i razvitiya APK: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj godu nauki i tekhnologii v Rossii, Izhevsk, 24–26 fevralya 2021 g. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2021. T. III. S. 68–72.

7. Sabiev U. K. Intensifikaciya tekhnologicheskikh processov prigotovleniya kombikormov v usloviyah sel'skohozyajstvennyh predpriyatij: spec. 05.20.01 «Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogo hozyajstva»: dis. ... d-ra tekhn. nauk. Barnaul, 2012. 408 s.

8. Savinyh P. A., Turubanov N. V. Tekhniko-ekonomicheskaya ocenka primenyaemyh tekhnologij i tekhnicheskikh sredstv pri prigotovlenii sbalansirovannyh kombikormov v usloviyah Evro-Severo-Vostoka Rossii // Vestnik NGIEI. 2024. № 5 (156). S. 46–58.

9. Fedorenko I. Ya. Vibracionnye processy i ustrojstva v APK: monografiya. Barnaul: Altajskij GAU, 2016. 289 s.

10. Fedorov O. S., Shirobokov V. I., Golubkov A. N. Sovershenstvovanie molotkovykh drobilok otkrytogo tipa // Sel'skij mekhanizator. 2020. № 10. S. 26–27.

11. Shirobokov V. I., Fedorov O. S. Sovershenstvovanie konstrukcii zernovykh molotkovykh drobilok // Aktual'nye problemy mekhanizacii sel'skogo hozyajstva: materialy yubilejnoj nauchno-prakticheskoj konferencii 55 let vysshemu agroinzhenernomu obrazovaniyu v Udmurtii, Izhevsk, 03–04 dekabrya 2010 g. / redkollegiya: P. L. Maksimov, A. G. Ivanov, O. S. Fedorov. Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2010. S. 16–19.

#### Сведения об авторах:

**О. С. Федоров** <sup>✉</sup>, кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-6079-6897>;

**В. И. Широков**, кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-5091-1190>;

**Е. Н. Соболева**, старший преподаватель

Удмуртский ГАУ, ул. Студенческая, 11, Ижевск, Россия, 426069

<sup>✉</sup>fos1973@yandex.ru

Original article

## INVESTIGATION OF EFFECT OF THE GEOMETRIC SHAPE OF HOLES IN A SEPARATING SIEVE ON OPERATION PARAMETERS OF A GRAIN HAMMER CRUSHER

**Oleg S. Fedorov** <sup>✉</sup>, **Vladimir I. Shirobokov**, **Elena N. Soboleva**

Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia

<sup>✉</sup>fos1973@yandex.ru

**Abstract.** The main technological operation in the production of combined feeds is grinding. For this purpose the open type hammer crushers are mainly used, in which the grinding and separation processes take place in different chambers. As a rule, punching sieves with round holes are used as separating surfaces. The most effective is the use of sieves with square holes having a free area ratio greater than that of sieves with round holes. The purpose of the research was to determine the regularities of the working process of a hammer grain crusher when using cyclone separators with different geometric shapes of the holes of separating sieves. To conduct a laboratory research the cyclone separator was manufactured with the possibility of replacing separating sieves with various geometric holes. Barley grains of the varieties Sonet, Raushan, wheat grains of the variety Iren were used as crushed grain. The research results found that in the case of using separating sieves with square holes, the increase of the grinding module was about 30 % in accordance with the grinding module for all groups of farm animals. The use of

separating sieves with square holes made it possible to reduce specific energy consumption by 38 %. The studies of determining the flowability of crushed grain have shown that the throughput of the crusher hopper increases by 12 % when the angle of natural slope of the bulk grain material decreases from  $\varphi = 35...40^\circ$  to  $\varphi = 30...35^\circ$ . The obtained results of preliminary studies of the cyclone separator with punched square holes indicate that the use of this type of sieves has a significant impact on the technological performance of the grain crusher and further research is required to determine the optimal design and technological parameters.

**Key words:** separating sieve, grinding module, hammer crusher, dirt.

**For citation:** Fedorov O. S., Shirobokov V. I., Soboleva E. N. Investigation of effect of the geometric shape of holes in a separating sieve on operation parameters of a grain hammer crusher. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2024; 3(79): 144-150. (In Russ.). [https://doi.org/10.48012/1817-5457\\_2024\\_3\\_144-150](https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_3_144-150).

#### Authors:

**O. S. Fedorov**<sup>✉</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6079-6897>;

**V. I. Shirobokov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-5091-1190>;

**E. N. Soboleva**, Senior Lecturer

Udmurt State Agricultural University, 11 Studencheskaya St., Izhevsk, Russia, 426069

<sup>✉</sup>fos1973@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 20.11.2023; одобрена после рецензирования 20.05.2024;

принята к публикации 06.09.2024.

The article was submitted 20.11.2023; approved after reviewing 20.05.2024; accepted for publication 06.09.2024.

Научная статья

УДК 628.3

DOI 10.48012/1817-5457\_2024\_3\_150-156

## ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ: ИННОВАЦИИ И РЕШЕНИЯ

Храмешин Роман Алексеевич<sup>1</sup>, Волхонов Михаил Станиславович<sup>2</sup>,  
Храмешин Алексей Валерьевич<sup>3</sup><sup>✉</sup>

<sup>1,3</sup>Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Костромская ГСХА, Караваево, Россия

<sup>3</sup>rcabx@mail.ru

**Аннотация.** Основными источниками загрязнения и засорения акватории являются сточные воды промышленных и перерабатывающих предприятий, в том числе пищевых производств, недостаточно очищенные, содержащие химические, животные и растительные остатки. Загрязняющие вещества, попадая в водоемы, приводят к качественным изменениям воды: ее физических и химических свойств, состава, накопления вредных веществ, и ухудшают экологическое состояние. Целесообразно производить обезвреживание сточных вод на станциях микробиологической очистки с последующим использованием очищенной воды в технологическом процессе, например, в системах оборотного водоснабжения либо замкнутых системах водоснабжения, при которых исключается сброс каких-либо вод без очистки. Целью данной работы было исследование вопросов совершенствования технологии очистки стоков пищевых производств на основе элементов микробиологии, их соответствие санитарно-эпидемиологическим критериям и определение направлений реализации решений на перерабатывающих предприятиях. В процессе работы были выполнены исследования процесса очистки стоков пищевых производств на примере стоков перерабатывающих предприятий. Предложена структурная схема, разработан и изготовлен модуль стабилизации биологии. В процессе работы модуля удалось не только восстановить работу ряда очистных сооружений, но и полностью ликвидировать грибвидные заражения различной степени сложности. Эти результаты открыли новое направление для контроля активности грибвидных масс и перспективы целевого применения грибных комплексов. Так, в экспери-