

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА ДРОБИЛКИ УДАРНО-ОТРАЖАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ**Миронов К. Е., Оболенский Н.В., Гоева В.В., Гришин Н.Е.**

Реферат. На основе проведенного анализа существующих исследований процесса измельчения зерна поставлены цель и задачи исследования, разработана дробилка зерна ударно-отражательного действия. Приводятся результаты теоретических исследований рабочего процесса дробилки зерна, включающих исследование движения зерновки по билу и определение траектории движения частиц в камере измельчения. В результате исследования различных способов подачи материала наименьшие энергозатраты были получены при подаче измельчаемого материала через верхнее загрузочное окно. С целью определения совместного влияния исследуемых факторов на критерий оптимизации и исключения незначимых реализована полуреплика полного факторного эксперимента. Изменяемыми факторами были частота вращения ротора, угол атаки бил, подача материала, диаметр отверстий и угол охвата торцевого решета. Критерием оптимизации выступали удельные энергозатраты. На следующем этапе исследовано измельчение зерна с использованием периферийного решета вместо торцевого, а также периферийного и торцевого одновременно. Было получено, что с увеличением угла атаки бил процентное содержание выхода готового продукта через периферийное решето увеличивается. Также для сопоставления теоретических и практических исследований на поверхность бил наносилась краска, а затем исследовали характер износа краски. По фотографии, сделанной после измельчения зерна, можно увидеть, что в зоне, характеризуемой положительным значением величины b , краска стерлась (что свидетельствует о скользящем движении зерновки по билу), а в зоне с отрицательным значением b видны удары зерновок. То есть представленные теоретические зависимости достаточно точно описывают характер движения зерновки в камере измельчения дробилки. С целью определения оптимальных значений исследуемых факторов реализован план эксперимента второго порядка. Методом наложения двумерных сечений поверхностей откликов были получены оптимальные значения исследуемых факторов. Энергозатраты при этом составили 1...1,3 (кВт·ч)/(т·ед.ст.изм.), а количество пыли и целых зерен не превышает нормы, оговоренные ГОСТ.

Ключевые слова: дробилка зерна; измельчение, корма для всех групп животных и птиц, математические зависимости, энергопотребление, экспериментальные исследования.

Введение. Измельчение кормов является необходимым и одним из самых энергоемких процессов животноводства. Изучением процессов измельчения и конструкции дробилок занимались многие исследователи [1, 2, 3, 4].

Из анализа научных работ можно сделать вывод, что для оценки работы дробилки зерна необходимо учитывать совокупность таких показателей, как энергозатраты на измельчение, степень измельчения зерна и производительность дробилки. Целью исследования является повышение эффективности процесса измельчения зерна путем совершенствования конструктивных и технологических параметров дробилки ударно-отражательного действия.

В связи с поставленной целью в настоящей работе решались следующие задачи:

Разработка новой конструкции дробилки зерна ударно-отражательного действия;

Получение математических зависимостей для описания относительного движения зерновки по билу ротора дробилки зерна ударно-отражательного действия, расчета траектории движения частицы и определения места выхода ее из камеры измельчения;

Получение регрессионных моделей про-

цесса функционирования дробилки зерна ударно-отражательного действия и обоснование ее основных конструктивных и технологических параметров по критериям эффективности;

Определение экономической и энергетической эффективности дробилки зерна ударно-отражательного действия результатами производственных испытаний.

Нами разработана классификация роторных зернодробилок по конструкционным признакам, среди которых выделили расположение ротора, способ крепления бил, наличие решет, количество ступеней, наличие противорезов, наличие дополнительных ударных плит, способ подачи материала.

В сельском хозяйстве широко применяются в качестве измельчителей зерна молотковые дробилки. Они получили массовое применение благодаря простоте конструкции, практичности в быту, хорошей заменяемости деталей. Однако при всех своих достоинствах существующие молотковые дробилки имеют ряд существенных недостатков. Среди них, как правило, остаются высокая энергоёмкость и переизмельчение зерна вследствие плохой управляемости потоками измельчаемого слоя

внутри камеры дробления, а также несвоевременного отвода измельченного материала из камеры. Поэтому при совершенствовании существующих дробилок зерна и разработке принципиально новых конструкций особое внимание необходимо уделять скорости вращения рабочих органов, организации воздушного потока в камере дробления, увеличению сепарирующей поверхности, увеличению ресурса рабочих органов. Был проведен анализ альтернативных конструкций дробилок и их рабочих органов [5, 6, 7].

Широкое распространение получила конструкция дробилки с ножевыми рабочими органами патент [8]. Она имеет вертикальный вал ротора с установленной на нем пластиной. Главным недостатком такой конструкции является интенсивный износ рабочих органов, и как следствие, неравномерность гранулометрического состава готового продукта.

Условия, материалы и методы исследований. Разработана и запатентована дробилка зерна ударно-отражательного действия [9], имеющая корпус загрузочным и выгрузным окнами, ротор с жестко установленными на нем билами, рабочая плоскость которых повернута относительно продольной оси, а также торцевое и периферийное решета (рис. 1).

Дробилка работает следующим образом. Материал, подлежащий измельчению, поступает в камеру через впускное окно 4, где подвергается ударам бил, в результате чего измельчается и отводится через торцевое и периферийное решета, а затем через выгрузное окно.

Было смоделировано движение зерновки по билу (рисунок 2), в результате чего получили систему уравнений (1), благодаря которой можно подобрать значения, при которых зерновка не скользит по билу, а ударяется о него, что обеспечивает наибольшую эффективность работы дробилки зерна ударно-отражательного действия.

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg \sin \alpha - |\lambda| \sqrt{k^2 + 1} \cdot f_m \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} + m\omega^2 x - 2m\omega \dot{z}; \\ m\ddot{y} = -k\lambda - |\lambda| \sqrt{k^2 + 1} \cdot f_m \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ m\ddot{z} = -mg \cos(\alpha) + \lambda - |\lambda| \sqrt{k^2 + 1} \cdot f_m \cdot \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} + m\omega^2 z + 2m\omega \dot{x}; \end{cases} \quad (1)$$

Также были получены математические выражения для определения скорости и координат частицы в камере измельчения (2, 3), благодаря которым можно определить распределение материала между решетками (рисунок 3).

В условиях лаборатории НГИЭУ была изготовлена экспериментальная установка (рисунок 4) с возможностью изменения изучаемых факторов. Привод осуществлялся от

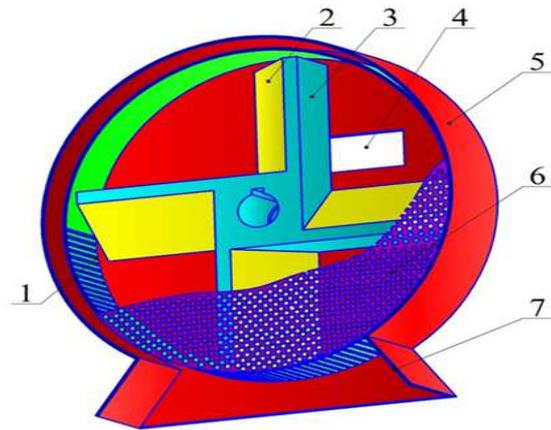


Рисунок 1 – Модель дробилки зерна с жестко закрепленными билами:

- 1 – периферийное решето; 2 – било; 3 – ротор;
- 4 – загрузочное окно; 5 – корпус; 6 – торцевое решето;
- 7 – выгрузное окно

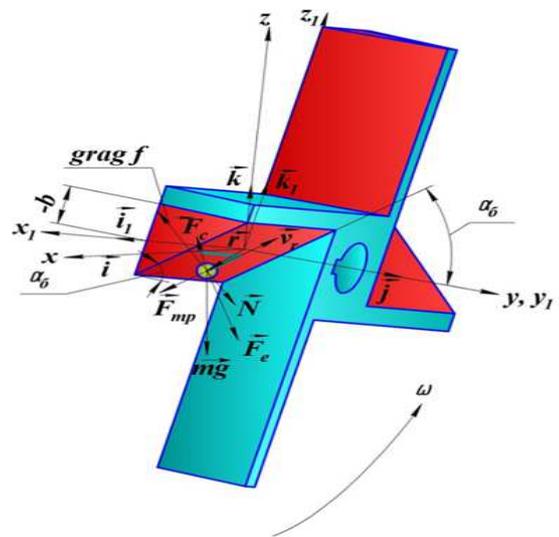


Рисунок 2 – Схема движения частицы по билу

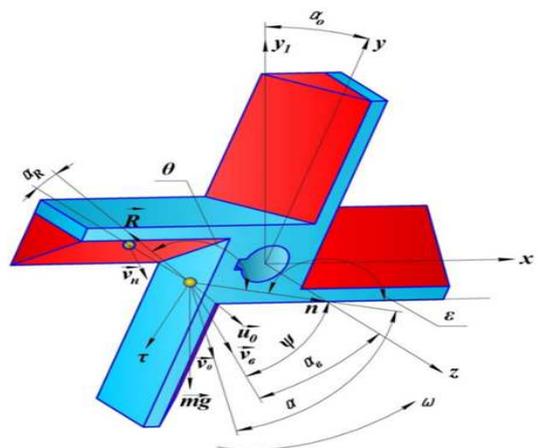


Рисунок 3 – Схема действия сил на частицу в межбиловом канале

электродвигателя через ременную передачу. Было изготовлено несколько наборов сменных бил с различным углом атаки, а также использовались различные варианты перекрытия торцевого решета.

$$\begin{cases} N(\Delta t) = n_0 + (-k_n \cdot u_{01} \cdot n_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot (28,89 + 0,03 \cdot n + 0,05 \cdot \varepsilon - \\ - 0,0009 \cdot n^2 - 0,0003 \cdot \varepsilon^2) + g \cdot \sin \varepsilon) \cdot \Delta t; \\ T(\Delta t) = \tau_0 + (-k_n \cdot u_{01} \cdot \tau_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot (29,78 + 0,041 \cdot n + 0,056 \cdot n^2 - \\ - 0,0002 \cdot \varepsilon^2) - g \cdot \cos \varepsilon) \cdot \Delta t; \\ Z(\Delta t) = z_0 + (-k_n \cdot u_{01} \cdot z_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot (25,61 + 0,108 \cdot n + 0,052 \cdot \varepsilon + 0,052 \cdot z - \\ - 0,001 \cdot n^2 - 0,0002 \cdot n \cdot \varepsilon - 0,00015 \cdot \varepsilon^2) - g \cdot \sin \alpha_0) \cdot \Delta t. \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} n(\Delta t) = n_0 \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot x_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot (28,89 + 0,03 \cdot n + 0,05 \cdot \varepsilon - 0,0009 \cdot n^2 - \\ - 0,0003 \cdot \varepsilon^2) + g \cdot \sin \varepsilon) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}; \\ \tau(\Delta t) = \tau_0 \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot \tau_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot (29,78 + 0,041 \cdot n + 0,056 \cdot n^2 - \\ - 0,0002 \cdot \varepsilon^2) - g \cdot \cos \varepsilon) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}; \\ z(\Delta t) = z_0 \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot z_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot (25,61 + 0,108 \cdot n + 0,052 \cdot \varepsilon + 0,052 \cdot z - \\ - 0,001 \cdot n^2 - 0,0002 \cdot n \cdot \varepsilon - 0,00015 \cdot \varepsilon^2) - g \cdot \sin \alpha_0) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}. \end{cases} \quad (3)$$



Рисунок 4 – Экспериментальная установка дробилки ударно-отражательного действия

Потребляемую мощность измеряли при помощи ваттметра, для определения качества измельчения использовали весы лабораторные и рассев РЛ-1.

Анализ и обсуждение результатов. На первом этапе исследований рассматривали три варианта расположения загрузочного окна: подача материала через верхнее окно, подача материала через нижнее окно и комбинированная подача материала (рис. 5). Выгрузка материала осуществлялась через сектор с углом 30 градусов.

Был реализован план эксперимента для двух факторов: частоты вращения ротора и способа подачи материала. Критериями оптимизации выступали пропускная способность, энергозатраты и качественные показатели.

По результатам проведенных экспериментов построены графики изменения потребляемой мощности двигателем в зависимости от пропускной способности дробилки при загрузке измельчаемого материала через верхнее, нижнее и оба загрузочных окна.

Установлено, что наибольшие энергозатраты требуются при подаче материала через нижнее загрузочное окно, при подаче через оба окна они снижаются и наименьшие энергозатраты были получены при подаче измельчаемого материала через верхнее окно, поэтому в дальнейшем при проведении исследований использовался последний вариант.

С целью определения совместного влияния исследуемых факторов на критерий оптимизации и исключения незначимых реализована полуреплика полного факторного эксперимента.

Изменяемыми факторами были частота вращения ротора, угол атаки бил, подача материала, диаметр отверстий и угол охвата торцевого решета. Критерием оптимизации выступали удельные энергозатраты.

В результате было получено уравнение регрессии (4).

$$y = 2,44 - 0,24 \cdot x_1 + 0,49 \cdot x_3 - 0,50375 \cdot x_4 - 0,26125 \cdot x_5 - 0,13 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,2375 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,40875 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0,2225 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,19375 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,44625 \cdot x_2 \cdot x_5 - 0,34875 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,26125 \cdot x_3 \cdot x_5 + 0,06 \cdot x_4 \cdot x_5 \quad (4)$$

Методом крутого восхождения определена зона оптимума: угол охвата торцевого решета сепарирующей поверхностью $\alpha = 130^\circ$, угол атаки бил $\beta = 36^\circ$, частота вращения бил 3300 мин⁻¹, подача измельчаемого материала $Q = 164$ кг/ч.

На следующем этапе исследовано измельчение зерна с использованием периферийного решета вместо торцевого, а также периферийного и торцевого одновременно (рисунок 6). Подача осуществлялась через верхнее окно.

Мы определяли влияние расположения заслонки на энергоемкость и производительность дробилки при установленном угле атаки бил ротора $\alpha = 45^\circ$, а затем сравнили его с ре-

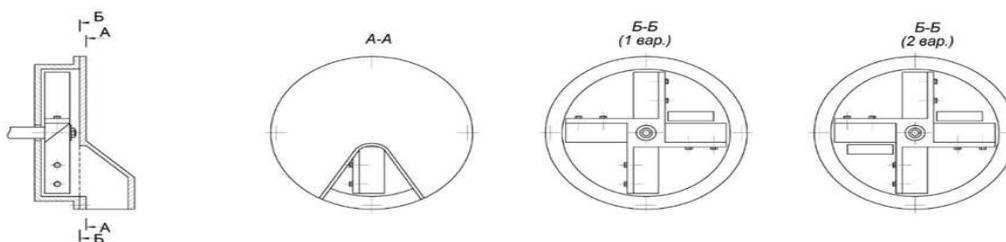


Рисунок 5 – Варианты расположения загрузочного окна

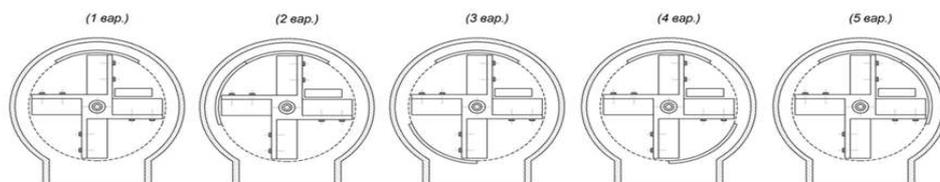


Рисунок 6 – Варианты расположения заслонки торцевого решета

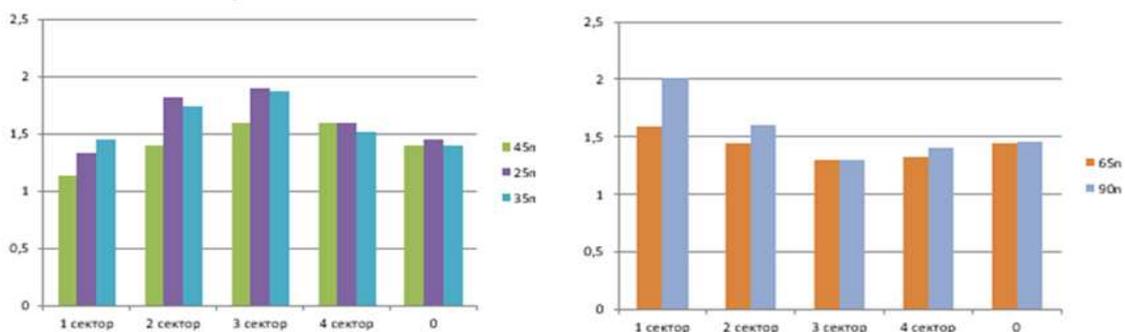


Рисунок 7 – Влияние расположения заслонки периферийного решета на энергоёмкость

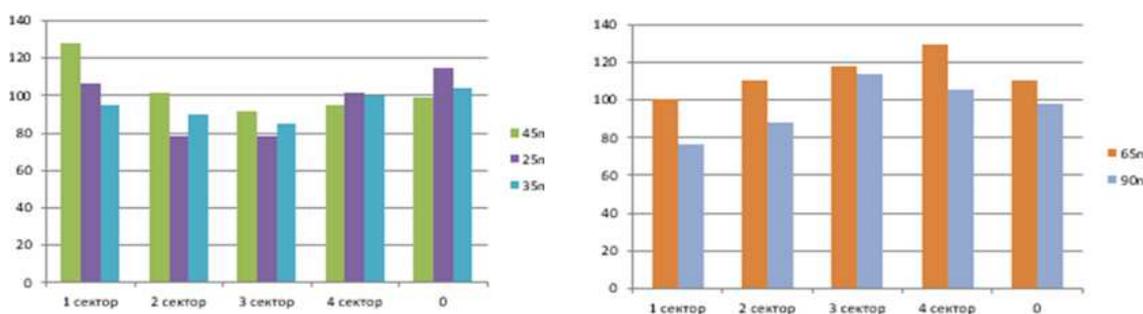


Рисунок 8 – Влияние расположения заслонки периферийного решета на производительность

зультатами при 25° и 35° . Подачу зерна задавали равной 100 кг/ч (min), 150 кг/ч (nom), 260 кг/ч (max). Наименьшая энергоёмкость и наибольшая производительность наблюдается в данном случае без использования перекрытия и при перекрытии периферийного решета в 1 секторе.

Далее сравнили результаты с использованием бил в 65° и 90° (рисунок 7, 8). Можно сделать вывод, что с увеличением угла атаки более $\alpha = 45^{\circ}$ распределение воздушных потоков в камере дробилки изменяется и наилучшие показатели наблюдаются при установке

заслонки в 3 и 4 секторе. Соответственно можно предположить, что при увеличении угла атаки бил процентное соотношение выхода между торцевым и периферийным решетами будет изменяться.

С увеличением угла атаки бил процентное содержание выхода готового продукта через периферийное решето увеличивается (рисунок 9).

Также на рисунке (рисунок 10) представлены била, с нанесенной на их поверхности краской. По фотографии, сделанной после измельчения зерна, можно увидеть, что в зоне,

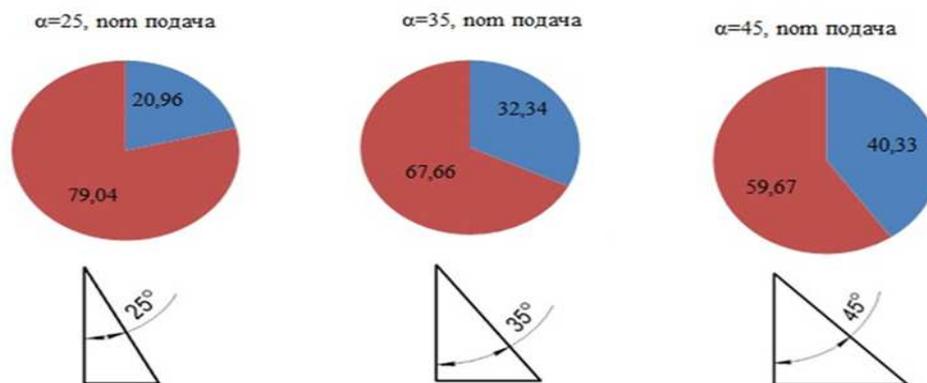


Рисунок 9 – Процентное распределение готового продукта между торцевым и периферийным решетами



Рисунок 10 – Фотографии бил со следами износа нанесенной краски



Рисунок 11 – Результат наложения двумерных сечений поверхностей отклика

характеризуемой положительным значением величины b , краска стерлась (что свидетельствует о скользящем движении зерновки по билу), а в зоне с отрицательным значением b видны удары зерновок. То есть представленные теоретические зависимости достаточно точно описывают характер движения зерновки в камере измельчения дробилки.

С целью определения оптимальных значений исследуемых факторов реализован план эксперимента второго порядка [10]. Работу дробилки оценивали технологическими, качественными и энергетическими показателями.

Методом наложения двумерных сечений поверхностей откликов были получены оптимальные значения исследуемых факторов (рисунок 11).

Максимальная производительность установки достигнута при следующих значениях исследуемых факторов: $x_1 = 0,43$, $x_2 = 0$, $x_3 = 0,81$, $x_4 = 0$, и составляет 141 кг/ч. Энергозатраты при этом составили 1...1,3 (кВт·ч)/(т·ед.ст.изм.), а количество пыли и целых зерен не превышает нормы, оговоренные ГОСТ.

Модуль помола необходимо регулировать перестановкой торцевого и периферийного решета с различными размерами отверстий. Для измельчения зерна на корм птице диаметр отверстий решет должен составлять 5 мм, крупному рогатому скоту - 3...4 мм, свиньям - 3 мм.

Далее была посчитана экономическая эффективность разработки. В сравнении с базовым вариантом дробилка зерна ударно-отражательного действия окупится за срок менее года, а годовая экономия денежных средств составит 45187 рублей.

Выводы. Разработана новая конструкция дробилки зерна ударно-отражательного действия, содержащая камеру измельчения с загрузочным и выгрузным окнами, которая выполнена в виде корпуса из цилиндрического горизонтально расположенного барабана и двух стенок, лопасти ротора расположены под углом относительно своей оси с ориентацией их поверхностей по направлению вращения ротора, при этом длина цилиндрического барабана кратна ширине бил.

Получены математические зависимости для описания относительного движения зерновки по билу ротора дробилки зерна ударно-отражательного действия при заданных значениях угловой скорости, углом коэффициента плоскости, коэффициенте трения и времени, а также для расчета траектории движения частицы и определения ее места выхода из камеры измельчения.

Путем планирования многофакторного эксперимента получены модели регрессии, характеризующие изменения показателей рабочего процесса, на основании которых определены рациональные значения конструктивных и технологических параметров: подача

измельчаемого материала производится через верхнее окно, частота вращения ротора – 3000 мин⁻¹, угол атаки бил – 50...550, угол охвата торцевой стенки сепарирующей поверхностью – 2350, охват периферийного решета заслонкой 48 мм, диаметр отверстий периферийного и торцевого решет – соответственно 5 мм и 3...4 мм.

Определено, что дробилка обеспечивает пропускную способность 150 кг/ч при установленной мощности 1,5 кВт и полученный

продукт удовлетворяет зоотехническим требованиям. При этом удельные энергозатраты не превышают 1,3(кВт·ч)/(т·ед.ст.изм.). Дробилка зерна ударно-отражательного действия имеет совокупные затраты энергии на 34 % меньше в сравнении с принятой за базовый вариант дробилкой JFN23C-85, а годовая экономия денежных средств в результате внедрения разработанной дробилки составляет 45187 рублей.

Литература

1. Оболенский Н.В., Булатов С.Ю., Свистунов А.И. Изобретательство – путь к научному успеху: монография /Под ред. заслуженного изобретателя РФ, проф. Н.В. Оболенского. – Н.Новгород: ДЕКОМ, 2016. – 208 с.
2. Вклад в науку инженерного института НГИЭУ: монография (всего 51 автор) под ред. заслуженного изобретателя РФ, проф. Оболенского Н.В. и к.т.н. Свистунова А.И. – Н. Новгород: ДЕКОМ, 2017. – 754 с.
3. Зиганшин Б.Г., Лукманов Р.Р., Гайнутдинов Р.Р. Энергосберегающие технические средства в молочном животноводстве // GLOBAL PROBLEMS OF THE STATE, REPRODUCTION AND USE OF NATURAL RESOURCES OF THE PLANET EARTH / MODERN PROBLEMS OF HUMANITY IN THE CONTEXT OF SOCIAL RELATIONS AND INTERNATIONAL POLITICS DEVELOPMENT (Materials digest of the XXVIII International Research and Practice Conference and the II stage of Championships in research analytics in biological, veterinary and agricultural sciences, Earth sciences. (London, July 13 - 18, 2012) / Materials digest of the XXIX International Research and Practice Conference and the II stage of Championships in research analytics in military, political and sociological sciences. (London, July 3 - August 06, 2012). Chief editor - Pavlov V.V. London, 2012. P. 74-75.
4. Savinykh, P. Badania eksperymentalne rozdrabniaczna bijakowego do ziarna okrelenie wplywu konstrukcyjnych cech na charakterystykę technologiczną / P. Savinykh, S. Bulatov, V. Nechaev, K. Mironov, S. Zavivaev // Problems of intensification of animal production including environment protection and alternative energy production as well as biogas. – Materialy na konferencje – Warszawa: Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentfch. – 2016. – Vol. XXII. – Pp. 195–202.
5. Патент 2478008 РФ, МПК В02С 13/28. Монолитный молоток универсального измельчителя кормов / И.Б. Шагдыров, М.Б. Балданов, М.Н. Сордонова, Е.А. Митрофанов. Заявл. 02.03.2011; Оpubл. 10.09.2012 Бюл. № 25.
6. Патент 2273520 РФ, МПК В02С 13/02. Дробилка / Н.Ф. Баранов, О.В. Пивоваров. Заявл. 05.10.2004; Оpubл. 10.04.2006 Бюл. № 10.
7. А.с. № 1777959, МПК В02С 13/08, В02С 13/09. Устройство для измельчения зерна / Н.В. Денисенко, А.С. Мудрук, В.Е. Бондарук, В.А. Маслюк. Заявл. 25.02.1991; Оpubл. 30.11.1992.
8. Патент 2140325 РФ, МПК В02С 9/04, В02С 7/18, В02С 13/16. Устройство для измельчения зерна / П.В. Мальцев, А.Ю. Берсенева, А.Ф. Лузгин. Заявл. 30.04.1998; Оpubл. 27.10.1999.
9. Миронов, К.Е. Изучение факторов, влияющих на характеристики зернодробилки зерна ударно-отражательного действия / К.Е. Миронов // Материалы XVII международной научно-практической конференции «Социально-экономические проблемы развития муниципальных образований». – Княгинино: НГИ-ЭИ, 2013. – С.47–49.
10. Савиных, П.А. Оптимизация конструктивно-технологических параметров дробилки зерна ударно-отражательного действия / П.А. Савиных, С.Ю. Булатов, К.Е. Миронов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 22–23 октября 2014 г.). – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. – Т. 1. – С. 67–73.

Сведения об авторах:

Миронов Константин Евгеньевич – старший преподаватель кафедры «Технические и биологические системы», e-mail: mironov@mail.ru

Оболенский Николай Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности», e-mail: obolenskinv@mail.ru

Гоева Вера Владимировна – доцент, доцент кафедры «Технические и биологические системы», v-goeva@mail.ru

Гришин Николай Евгеньевич – заведующий лабораторией кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности», e-mail: ngiei-ohrana_truda@mail.ru

ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Россия.

DEVELOPMENT AND STUDY OF THE GRAIN CRUSHING WORKING PROCESS OF SHOCKING AND REFLECTIVE CRUSHER

Mironov K.E., **Obolensky N.V.**, Goeva V.V., Grishin N.E.

Abstract. Based on the analysis of existing studies of the process of grinding grain, the goal and objectives of the research were set, a crusher of a grain of impact-reflective action was developed. The results of theoretical studies of the working process of the grain crusher, including the study of grains' movement along the beam and the determination of the

trajectory of movement of particles in the grinding chamber, are given. As a result of the study of various methods of supplying the material, the lowest energy consumption was obtained when the comminuted material was fed through the upper loading window. In order to determine the joint influence of the factors under study on the criterion of optimization and the exclusion of insignificant, the semi-replica of the full factorial experiment was implemented. Variable factors were the rotor speed, the angle of attack, the material feed, the diameter of the holes, and the angle of coverage of the end sieve. The optimization criterion was specific energy consumption. At the next stage, grain refinement was investigated using a peripheral sieve instead of an end sieve, as well as a peripheral sieve and an end sieve at the same time. It was found that with an increase in the angle of attack hit the percentage of the yield of the finished product through a peripheral sieve increases. Also, to compare theoretical and practical studies, paint was applied to the surface, and then the nature of paint wear was examined. From a photograph taken after grinding the grain, one can see that in the area characterized by a positive value of b , the paint has worn off (which indicates a sliding movement of the weevil), and in the area with a negative value of b , we can see blows of the weevils. That is, the presented theoretical dependences quite accurately describe the nature of the movement of the weevil in the grinding chamber of the crusher. In order to determine the optimal values of the studied factors, a second-order experiment plan was implemented. The method of superimposing two-dimensional sections of the response surfaces yielded optimal values of the factors under study. At the same time, energy consumption amounted to $1 \dots 1.3$ (kW · h) / (t - measurement unit), and the amount of dust and whole grains does not exceed the norms stipulated by GOST.

Key words: grain crusher; crushing; feed for all groups of animals and birds; mathematical dependencies; power usage; experimental studies.

References

1. Obolenskiy N.V., Bulatov S.Yu., Svistunov A.I. *Izobretatelstvo – put k nauchnomu uspekhu: monografiya*. [Invention - the path to scientific success: a monograph]. / Edited by honored inventor of the Russian Federation, professor N.V. Obolenskiy – N. Novgorod: DEKOM. – 2016. – P. 208.
2. *Vklad v nauku inzhenernogo instituta NGIEU: monografiya (vsego 51 avtor)*. [Contribution to the science of the engineering institute of NSUEE: monograph (total: 51 authors)]. edited by honored inventor of the Russian Federation, Professor Obolenskiy N.V. and Ph.D. of Technical sciences Svistunova A.I. – N. Novgorod: DEKOM. 2017. – 754 s.
3. Ziganshin B.G., Lukmanov R.R., Gaynutdinov R.R. Energoberegayushchie tekhnicheskie sredstva v molochnom zhivotnovodstve. [Energy-saving technical means in dairy farming]. V sbornike: GLOBAL PROBLEMS OF THE STATE, REPRODUCTION AND USE OF NATURAL RESOURCES OF THE PLANET EARTH / MODERN PROBLEMS OF HUMANITY IN THE CONTEXT OF SOCIAL RELATIONS AND INTERNATIONAL POLITICS DEVELOPMENT Materials digest of the XXVIII International Research and Practice Conference and the II stage of Championships in research analytics in biological, veterinary and agricultural sciences, Earth sciences. (London, July 13 - 18, 2012) / Materials digest of the XXIX International Research and Practice Conference and the II stage of Championships in research analytics in military, political and sociological sciences. (London, July 3 - August 06, 2012). Chief editor - Pavlov V.V. London, 2012. P. 74-75.
4. Savinykh, P. Badania eksperymentalne rozdrabniaczna bijakowego do ziarna okrešlenie wpływu konstrukcyjnych cech na charakterystykę technologiczną / P. Savinykh, S. Bulatov, V. Nechaev, K. Mironov, S. Zavivaev // Problems of intensification of animal production including environment protection and alternative energy production as well as biogas. – Materialy na konferencje – Warszawa: Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentfch. – 2016. – Vol. XXII. – Pp. 195–202.
5. Patent 2478008 RF, MPK B02C 13/28. *Monolinnyy molotok universalnogo izmelchitel'ya kormov*. [Monolithic hammer of universal feed grinder]. / I.B. Shagdyrov, M.B. Baldanov, M.N. Sordonova, E.A. Mitrofanov. Applied 02.03.2011; Publ. 10.09.2012; Bul. №25.
6. Patent 2273520 RF, MPK B02C 13/02. *Drobilka*. [Crusher]. / N.F. Baranov, O.V. Pivovarov. Applied 05.10.2004; Publ. 10.04.2006 Bul. №10.
7. A.s. № 1777959, MPK B02C 13/08, B02C 13/09. *Ustroystvo dlya izmelcheniya zerna*. [Device for grinding of grain]. / N.V. Denisenko, A.S. Mudruk, V.E. Bondaruk, V.A. Maslyuk. Applied 25.02.1991; Publ. 30.11.1992.
8. Patent 2140325 RF, MPK B02C 9/04, B02C 7/18, B02C 13/16. *Ustroystvo dlya izmelcheniya zerna*. [A device for grinding of grain]. / P.V. Maltsev, A.Yu. Bersenev, A.F. Luzgin. Applied 30.04.1998; Publ. 27.10.1999.
9. Mironov K.E. *Izuchenie faktorov, vliyayuschikh na kharakteristiki zernodrobilki zerna udarno-otrazhatelnogo deystviya*. // *Materialy XVII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sotsialno-ekonomicheskie problemy razvitiya munitsipalnykh obrazovaniy"*. (The study of factors, affecting the characteristics of the grain crusher of the reflective action. / K.E. Mironov // Proceedings of XVII International Scientific and Practical Conference "Social and economic problems of the development of municipalities). – Knyaginino: NGIEU, 2013. – P. 47–49.
10. Savinykh P.A. *Optimizatsiya konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov drobilki zerna udarno-otrazhatelnogo deystviya* / P.A. Savinykh, S.YU. Bulatov, K.Ye. Mironov // *Nauchno-tekhnicheskii progress v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: materialy Mezhdunar. nauch.-tekh. konf. (Minsk, 22–23 oktyabrya 2014 g.)*. (Optimization of the design and technological parameters of grain crusher of the shock-reflective action. / P.A. Savinykh, S.Yu. Bulatov, K.E. Mironov // Scientific and technical progress in agricultural production: proceedings of International scientific and technical conference). (Minsk, October 22–23, 2014). – Minsk: NPTS NAN Belarusi po mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva, 2014. – T. 1. – S. 67–73.

Authors:

Mironov Konstantin Evgenevich – Senior Lecturer of Technical and Biological Systems Department, e-mail: mieronow@mail.ru

Obolenskiy Nikolay Vasilevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Labor protection and safety of vital functions Department, e-mail: obolenskinv@mail.ru

Goeva Vera Vladimirovna – Associate Professor, Associate Professor of Technical and Biological Systems Department, v-goeva@mail.ru

Grishin Nikolay Evgenevich – Head of the Laboratory of the Department "Labor Protection and Safety of Vital Functions", e-mail: ngiei-ohrana_truda@mail.ru

Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russia.