

УДК 631.363.21

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ УДАРНЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

Кукаев Хамза Сартаевич (0009-0008-6275-9350),
Асманкин Евгений Михайлович (0000-0001-7168-0099),
Ушаков Юрий Андреевич (0000-0002-7383-5442)

Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

Аннотация: Основными недостатками роторных дробилок зерна являются повышенное энергопотребление и содержание пылевидной фракции в помоле. Одна из главных причин недостатков заключается в низкой эффективности воздействия рабочих органов дробилки на перерабатываемое зерно. Для обоснования оптимизации параметров дробилки необходима характеристика, которая отражает качество удара. Для этого предложено рассматривать потери кинетической энергии. Цель работы – оценка связи между вероятностью разрушения зерна и потерями кинетической энергии при ударе. Выполнено сравнение опытных данных Л. А. Глебова с теоретическими значениями потерь кинетической энергии и установлено их хорошее соответствие между собой. Сделан вывод, о применимости понятия потерь энергии в качестве характеристики ударного воздействия.

Ключевые слова: дробилка, удар, воздействие, угол атаки, качество, разрушение, потери энергии

ЧЫРКЫ ДАНДЫ ТАРТКАНДЫН НАТЫЙЖАЛУУЛУГУ

Кукаев Хамза Сартаевич (0009-0008-6275-9350),
Асманкин Евгений Михайлович (0000-0001-7168-0099),
Ушаков Юрий Андреевич (0000-0002-7383-5442)

Оренбург мамлекеттик агрардык университети, Оренбург, Орусия

Аннотация: Айлануучу дан майдалагычтардын негизги кемчиликтери болуп энергияны керектөө жана майдалоодо чаң фракциясынын көп болушу саналат. Кемчиликтердин негизги себептеринин бири — майдалагычтын жумушчу органда-рынын иштетилген данга тийгизген таасири-нин темендугу. Майдалагычтын параметрлерин оптималдаштырууну актоо үчүн таасирдин сапатын чагылдырган мүнөздөмө керек. Бул үчүн кинетикалык энергияны жоготууну карап чыгуу сунушталат. Иштин максаты дандын бузулуу ыктымалдыгы менен таасир эткенде кинетикалык энергиянын жоголушу ортосундагы байланышты баалоо болуп саналат. Л.А.Глебовдун эксперименталдык маалыматтары кинетикалык энергиянын жоготууларынын теориялык маанилери менен салыштырылып, алардын бири-бири менен жакшы макулдашуусу аныкталат. Таасирдин мүнөздөмөсү катары энергияны жоготуу концепциясын колдонуу мүмкүнчүлүгү жөнүндө корутунду чыгарылат.

Өзөктүү сөздөр: майдалагыч, сокку, иш-аракет, чабуул бурчу, сапаты, жок кылуу, энергия жоготуу

EFFICIENCY OF GRINDING RAW GRAIN BY IMPACT

**Kukaev Khamza Sartaevich (0009-0008-6275-9350),
Asmankin Evgeny Mikhailovich (0000-0001-7168-0099),
Ushakov Yuri Andreevich (0000-0002-7383-5442)**

Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

Annotation: *The main disadvantages of rotary grain crushers are increased energy consumption and the content of dust fraction in the grinding. One of the main reasons for the shortcomings is the low efficiency of the influence of the working bodies of the crusher on the processed grain. To justify the optimization of crusher parameters, a characteristic is needed that reflects the impact quality. To do this, it is proposed to consider the loss of kinetic energy. The purpose of the work is to evaluate the relationship between the probability of grain destruction and the loss of kinetic energy upon impact. The experimental data of L. A. Glebov are compared with the theoretical values of kinetic energy losses and their good agreement with each other is established. The conclusion is made about the applicability of the concept of energy loss as a characteristic of impact.*

Keyword: *crusher, impact, effect, angle of attack, quality, destruction, energy loss*

1. Введение

В современных условиях развития животноводства проявляется возрастающая потребность в высококачественных кормах. Особое место в рационах животных занимают зерновые ингредиенты. Важным технологическим этапом приготовления комбикорма является процесс измельчения зернового сырья до необходимой крупности, так как зерно в дроблёном виде усваивается организмом животного гораздо эффективнее.

В комбикормовой промышленности и в аграрных хозяйствах основной измельчающей машиной является роторная дробилка. Она проста по устройству, универсальна, имеет высокую производительность. Вместе с тем обладает повышенным удельным расходом электроэнергии, а состав размола содержит значительную долю переизмельченной фракции.

В рабочей камере дробилки фрагментация зерна происходит под действием ударов элементами быстровращающегося ротора (бил, молотков), а также ударов и истирания зерна о неподвижные элементы камеры (дека, противоударные элементы). Под влиянием вращения ротора измельчаемая

масса, состоящая из частиц различного размера, вовлекается в круговое движение и образует вблизи стенок камеры воздушно-продуктовый слой.

Скорость движения воздушно-продуктового слоя может достигать половины скорости вращения ротора, это значительно снижает силу удара бил. Эффективными являются лишь первичные удары по зернам в момент их подачи в камеру дробления. Воздушно-продуктовый слой препятствует свободным ударам частиц зерна, отброшенных билом в сторону деки. Кроме того, наблюдается непроизводительные затраты механической энергии на нагрев измельчаемой массы вследствие высокоскоростного трения о поверхность камеры [1, 2].

В дробилках закрытого типа отделение готовой фракции происходит механическим способом посредством сита, установленного в рабочей камере. Ряд исследований указывают на недостатки механической сепарации, которая приводит к забиванию отверстий сита непроходными частицами и задержке готовой фракции. В результате происходит её переизмельчение и связанные с ней дополнительные затраты энергии [3].

Для повышения эффективности

измельчения зернового сырья с применением роторной дробилки предлагаются различные решения: торможение или изменение траектории движения воздушно-продуктового слоя для интенсификации воздействия бил, оптимизация параметров молотков, создание макрорельефа на поверхности рабочей камеры, увеличение просеивающей поверхности, отказ от механической сепарации, оптимизация аэродинамического режима работы дробилки [4,5].

В целом, меры направлены на повышение эффективности взаимодействия рабочих органов и перерабатываемого сырья за счет улучшения ударных воздействий и снижения задержки готового продукта в зоне действия ударных элементов. Однако ведущиеся изыскания не в полной мере решают задачи совершенствования роторных дробилок. Вопрос снижения удельной энергоёмкости измельчения зерна при улучшении качества получаемого продукта до сих пор остается актуальным.

Особенностью и основным преимуществом роторной дробилки является схема воздействия на частицу сырья – «удар и противоудар». Удар била не только нагружает частицу сырья, но и одновременно сообщает ей или образовавшимся фрагментам кинетическую энергию, которая затем расходуется при последующем взаимодействии с элементами камеры. Качество взаимодействия частицы с элементом камеры определяется тем, насколько полно реализуется запас её кинетической энергии для дальнейшего разрушения. Энергия ротора используется наиболее рационально, если действия рабочих органов на измельчаемое сырье реализуются в виде исключительно ударных воздействий.

Обоснованию и целенаправленной оптимизации конструктивно-режимных параметров роторной дробилки, основанной на принципе ударного разрушения, препятствует отсутствие характеристики качества ударного взаимодействия частицы

зерносырья и рабочего органа.

В последующем разделе предложена количественная характеристика, отражающая качество ударного взаимодействия частицы зерносырья с поверхностью рабочего органа.

В разделе «Результаты исследования» показано соответствие теоретической зависимости количественной характеристики удара эмпирическим данным о вероятности разрушения зерна до определённого размера при различных углах атаки.

В разделе «Дискуссия» обращено внимание на связь вероятности разрушения зерна с количественной характеристикой удара.

2. Материалы и методы исследования

Известно, что после столкновения тел суммарная кинетическая энергия оказывается меньше, чем до столкновения. Потерянная энергия расходуется на различные физические эффекты, сопутствующие удару и происходящие в объёмах тел: деформация, нагрев, возбуждение механических волн, образование дефектов целостности и, наконец, разрушение тел. При организации измельчающего удара дефекты и разрушение являются целевыми эффектами, следовательно, потери энергии, хотя и косвенно, но отражают качество удара. Очевидно, что чем больше потери энергии, тем результативней будет удар, если его целью ставилось разрушение одного или обоих сталкивающихся тел. Данное утверждение справедливо и для случая, когда одно из тел до удара находится в покое. Если принять потери энергии как характеристику удара, то можно сравнивать качество удара в различных условиях его протекания (скорость, угол атаки, упругие свойства тел и пр.).

Итак, потери кинетической энергии предлагается рассматривать как характеристику, отражающую качество удара с целью разрушения.

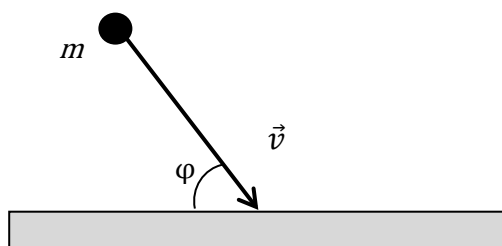


Рис. 1. Схема удара частицы о поверхность, v – относительная скорость частицы, φ – угол атаки

В разработанной теоретической модели [6] было получено выражение потерь кинетической энергии ΔT при ударе частицы зернового сырья о твердую неподвижную поверхность рабочего органа (Рис.1):

$$\Delta T = \frac{mv^2}{2} \left(1 - k^2 \sin^2 \alpha + (\cos \alpha - \mu(k+1) \sin \alpha \sqrt{\cos \alpha})^2 \right)$$

где m – масса частицы, v – скорость частицы относительно рабочего органа, k – коэффициент восстановления при ударе, μ – коэффициент ударного трения, φ – угол атаки удара (Рис. 1).

Одним из важнейших параметров удара является угол атаки φ . Очевидно, что при $\varphi=0^\circ$ удар не реализуется (частица движется вдоль поверхности), и потери энергии ΔT равны нулю. С увеличением угла атаки потери энергии возрастают и при $\varphi=90^\circ$ (прямой удар) достигают максимума, то есть удар достигает максимального качества и эффективности. Для примера на рисунке 2 представлен

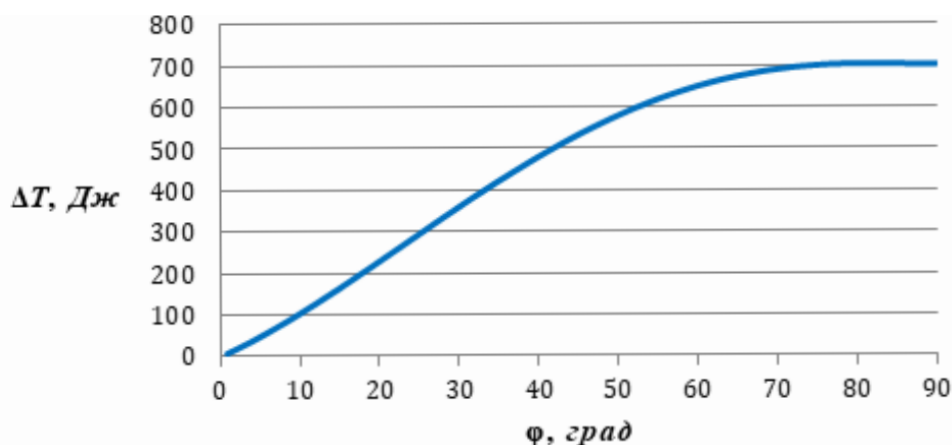


Рис. 2. Теоретическая зависимость потерь кинетической энергии ΔT от угла атаки φ (параметры: $v=40$ м/с, $k=0,35$, $\mu=0,23$, $m=1$ кг)

график теоретической зависимости $\Delta T(\varphi)$, построенной по выражению (1) для единицы массы ($m=1$ кг) и параметрами удара: $v=40$ м/с, $k=0,35$, $\mu=0,23$. Хорошо видно, что с ростом угла атаки φ потери кинетической энергии растут почти линейно и при $600-700$ практически равны максимальному значению.

На практике качество удара определяется через его разрушающую способность или вероятность разрушения. Чем эффективнее удар, тем больше должна быть вероятность разрушения зерна.

Цель исследования – оценка связи между вероятностью разрушения зерна и потерями кинетической энергии при ударном взаимодействии.

3. Результаты исследования

Процесс измельчения зерновых материалов ударными воздействиями был подробно изучен профессором Л.А. Глебовым. В его экспериментах установлена, в частности, зависимость доли разрушенных зерен при ударе о неподвижную поверхность деки. Угол установки деки изменялся для осуществления ударов зёрен о деку под различными углами атаки [7].

Измеренные значения доли разрушенных зёрен пшеницы до крупности 2,8 мм в условиях однократного удара зернового потока с декой со скоростью $v=60$

Таблица. Данные из экспериментов Л.А. Глебова.

Угол атаки зерна с поверхностью деки, град	30	45	60	75	90
Доля разрушенных зерен, p	0,17	0,24	0,27	0,29	0,30

м/с при различных углах атаки сведены в таблице.

Доля разрушенных зерен до заданной крупности по смыслу можно считать вероятностью разрушения зерна.

Между вероятностью разрушения зерна, с одной стороны, и потерями кинетической энергии, с другой, должна существовать корреляция. В этом аспекте интересно сопоставить опытные данные вероятности p с теоретическими значениями ΔT при разных углах атаки. Наиболее наглядно это можно сделать графическим способом. На рисунке 3 показано комбинированное представление экспериментальных значений p из таблицы и график функции $\Delta T(\varphi)$, согласно выражению (1).

Оси значений потерь энергии ΔT и вероятности разрушения p , расположены, соответственно, слева и справа от координатной плоскости. Параметры для построения графика $\Delta T(\varphi)$ соответствуют условиям эксперимента Л.А. Глебова ($v=60$ м/с, $k=0,26$, $\mu=0,25$). Расчеты выполнены для единицы массы ($m=1$ кг).

Отметим, что коэффициент восстановления k зависит от скорости

удара, с его увеличением коэффициент убывает примерно по линейному закону [7]. Для выражения (1) значение k выбрано в соответствии со скоростью. Что касается коэффициента ударного трения, то его значение было выбрано эмпирически.

4. Дискуссия

Рисунок 3 свидетельствует, что теоретическая зависимость потерь кинетической энергии достаточно хорошо согласуется с экспериментальными данными о вероятности разрушения зерна, полученные ранее Л.А. Глебовым. В целом, потери энергии ΔT имеют практически тот же характер зависимости от угла атаки, что и вероятность разрушения зерна p . Следовательно, при ударном взаимодействии с поверхностью рабочего органа

вероятность разрушения зерна во многом определяется потерями кинетической энергии.

Данных о вероятности разрушения при углах атаки менее 30° отсутствуют, однако можно предположить, что они соответствовали бы теоретической кривой $\Delta T(\varphi)$ в этом диапазоне.

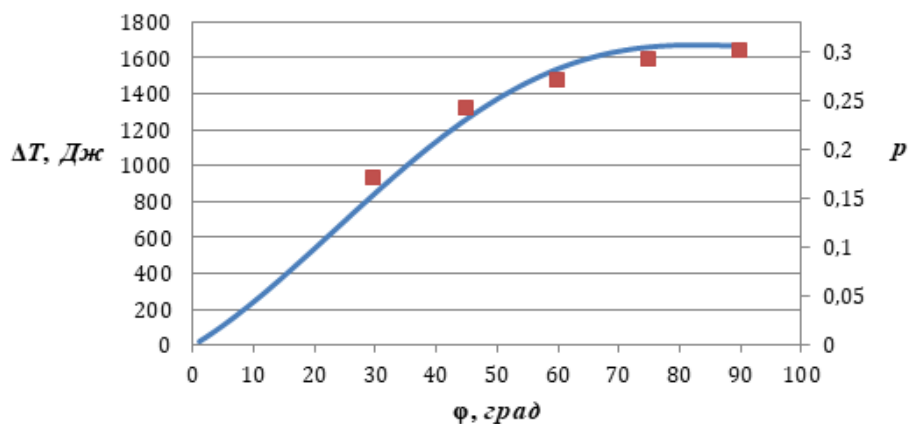


Рис. 3. Комбинированное представление потерь энергии $\Delta T(\varphi)$ (линия) и экспериментальных значений вероятности p (точки) для пшеницы при различных углах атаки (параметры: $v=60$ м/с, $k=0,26$, $\mu=0,25$, $m=1$ кг)

Допустимо утверждать, что в первом приближении вероятность разрушения зерна при ударе пропорциональна потерям кинетической энергии, то есть чем больше потери энергии, тем больше вероятность разрушения. Однако точная связь между указанными величинами может оказаться сложной и включать дополнительные факторы. Выяснение указанной связи, выраженной явно какой-либо математической формулой, требует дальнейших исследований.

5. Выводы

В результате настоящего исследования установлено, что зависимости вероятности разрушения зерна и потерь кинетической энергии от угла атаки идентичны между собой. Величина потерь кинетической энергии достаточно адекватно отражает эффективность удара, что позволяет использовать её как характеристику качества удара.

Использование предлагаемой характеристики качества удара открывает возможность более эффективному совершенствованию существующих роторных дробилок и других машин, использующих принцип разрушения зерна ударом. В особенности тех машин, в которых число воздействий на сырьё ограничено.

Дальнейшие исследования процесса ударного разрушения зерна могут выявить точную количественную связь между потерями энергии и вероятностью разрушения.

6. Использованная литература

Баранов, Н. Ф. Исследование взаимодействия частиц с рабочими органами молотковой дробилки / Н. Ф. Баранов, В. Г. Фарафонов, Л. А. Лопатин // Пермский аграрный вестник. – 2018. – № 3(23). – С. 4-11.

Кукаев Х.С. Кинетика измельчаемого материала в процессе его взаимодействия с элементами рабочей камеры дробилки ударного типа. Совершенствование

инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: материалы международной научно-практической конференции. / Х.С. Кукаев, Е.М. Асманкин, Ю.А. Ушаков, – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2021. – С. 64.

Анализ функциональной специфики дробильных устройств с боковым расположением выгрузных зон / В. А. Шахов, Ю. А. Ушаков, А. А. Петров [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018 4(72). – С. 181-184.

Экспериментально-теоретическое исследование работы молотковой дробилки / И. В. Коношин, Р. А. Булавинцев, А. В. Волженцев, А. П. Башкирев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 9. – С. 198-204.

Nicholas K. Berry, John M. Fielke, Chris Saunders, Determination of impact energy to devitalize annual ryegrass (*Lolium rigidum*) seed from one impact using double and single sided impacts, Biosystems Engineering, Volume 118, 2014, Pages 138-146

Теоретическая модель процесса реализации энергетических затрат при ударном измельчении зернового сырья / Е. М. Асманкин, Ю. А. Ушаков, В. А. Шахов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36. – № 11. – С. 80-85.

Совершенствование процесса измельчения компонентов комбикормов. Обзорная информация. Серия: Комбикормовая пром. / [Л. А. Глебов и др.]. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродукта СССР, 1988. – 51 с.