

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ЗЕРНА УДАРОМ

Валерий Соломка, Алексей Соломка

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Valeriy Solomka, Aleksey Solomka

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. В работе проанализированы различные способы разрушения зерна с учетом его физико-механических свойств, определены аналитические зависимости для расчета основных параметров измельчителей разных типов.

Ключевые слова: разрушение, удар, истирание, скалывание, раздавливание, разрезание, поверхностная теория измельчения, объемная теория измельчения, параметры.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Под измельчением понимают процесс разделения твердого тела на части механическим путем под действием внешних сил, превышающих силы молекулярного сцепления. Энергоемкость измельчения зерновых компонентов составляет от 40 до 70 % общих затрат энергии на процесс приготовления концентрированных кормов [21] и зависит от способа измельчения и физико-механических свойств зерновых материалов, в первую очередь показателей прочности и влажности сырья.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ последних исследований и публикаций свидетельствует, что наиболее перспективным направлением использования концентрированных кормов является организация изготовления комбикормовых смесей непосредственно в хозяйствах из зерна собственного производства и закупленных белково-витаминно-минеральных добавок [7, 8, 12]. При незначительных объемах работ рациональным путем развития отрасли кормопроизводства является разработка малогабаритных фермских агрегатов, в первую очередь, измельчителей, способных удовлетворить потребности мелких хозяйств в ка-

чественных концентрированных кормах соответствующего фракционного состава для различных видов животных с возможностью его регулирования. К сожалению, конструкции современных измельчителей зерновых материалов не позволяют обеспечить надлежащее качество выполнения процесса при малых подачах и его экономичность, в основном, за счет неравномерного поступления материала в камеру измельчения и его интенсивного истирания при вращении в рабочей зоне, что приводит к снижению равномерности дробления и образованию значительного количества мучнистой фракции [2, 3, 7, 8, 10].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение рационального типа и параметров измельчающего устройства малой производительности путем анализа процесса разрушения зерна ударом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как и любой растительный материал, зерно злаковых культур характеризуется высокой нестабильностью физико-механических свойств, особенно показателей прочности, что имеет существенное значение при исследовании процесса его измельчения. Эти свойства меняются в широких пределах в зависимости от культуры, сорта, степени созревания, условий выращивания, влажности и ряда других факторов, не позволяет отнести его к конкретной группе материалов: при различных комбинациях свойств зерно можно классифицировать как упругий, или как пластичный материал.

Учитывая эти особенности, ряд ученых [7, 11, 12, 18] предлагают рассматривать зерно как материал, состоящий из двух основных компонентов: упругого скелета и пла-

стического наполнителя. Под действием внешней нагрузки элементы скелета деформируются, а наполнитель оказывает вязкое сопротивление перемещению частиц скелета, увеличивая тем самым общую прочность и жесткость тела. Предел прочности скелета не зависит от времени действия статической нагрузки, а величина сопротивления вязкого наполнителя со временем уменьшается и прочность зерна определяется только прочностью скелета. При кратковременном воздействии внешней силы (удар) вязкое сопротивление наполнителя достаточно большое, поэтому при динамических нагрузках для разрушения зерна необходимо приложить большую нагрузку, чем при разрушении статическими силами.

Пластическая деформация зерна характеризуется появлением трещин скелета, дальнейшее развитие которых приводит к обособлению отдельных частей зерна. В результате образуется множество мелких частиц с развитой поверхностью. Другими словами, измельчение зерна можно классифицировать как процесс прироста новых поверхностей.

Зерна злаковых культур относятся к капиллярно-пористым коллоидным телам, отдельные части которых (оболочки, зародыш) имеют различную структуру, различные физические и химические характеристики. В отличие от идеально твердых тел, механические свойства зерен в различных направлениях неодинаковы. Кроме того, зерна злаковых культур относятся к органическим телам и имеют сложное строение и конфигурацию. Указанные особенности структуры зерна существенно влияют на механические свойства и на его поведение в процессе деформации и разрушения под действием внешних нагрузок.

Если внешние силы, приложенные к зерну, не превышают определенного предела, то смещение частиц с равновесных положений и возникающие деформации будут обратимыми. После завершения воздействия внешних сил зерно под действием сил межатомного взаимодействия возвращается в первоначальное состояние (упругая деформация).

При нагрузках, превышающих предел упругости, проявляются пластические деформации, сопровождающиеся так называемым «перетеканием» вещества зерна без нарушения его целостности. Пластические деформации, в отличие от других видов деформаций, являются деформациями большого масштаба и развиваются с очень малой скоростью.

Успешное проектирование машин, предназначенных для измельчения зерновых материалов, необходимо осуществлять с учетом их физико-механических и технологических свойств, которые влияют на гранулометрический состав и качество готовой продукции, а также на удельные энергетические затраты.

Как уже упоминалось выше, в технологии приготовления концентрированных кормов самым распространенным и наиболее важным является процесс механического измельчения зерна. Под измельчением понимают разделение материала на мелкие составные части под действием внешних сил. В зависимости от способа действия рабочего органа на материал и вида деформаций, возникающих в нем, измельчение фуражного зерна, аналогично другим материалам [11, 14, 16], может осуществляться в результате удара, истирания, скалывания, раздавливания и разрезания (рис. 1). Следует отметить, что такое деление способов измельчения достаточно условно и в некоторых литературных источниках оно подается несколько иначе [11, 20].

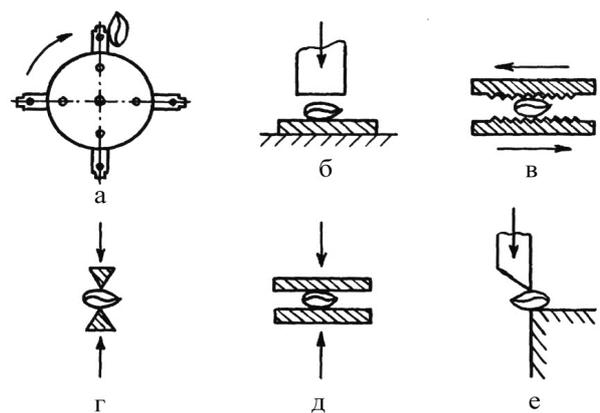


Рис. 1. Основные способы измельчения фуражного зерна [7]:

а, б – удар; в – истирание; г – скалывание; д – раздавливание; е – резание

Fig.1. Basic methods of growing of feed-stuff grainshallow [7]:

а, б – blow; в – detrition; г – chipping; д – flatten; е – shredding

Удар – наиболее распространенный способ измельчения. Различают разрушения свободным ударом (рис. 1,а) и ударом между двумя рабочими органами (рис. 1,б). Эффективность такого способа разрушения материала зависит от кинетической энергии тела, совершающего удар. Стирание (рис. 1,в) – достаточно древний, и наиболее распространенный способ измельчения зерновых материалов, разрушающихся под действием сил сжатия, растяжения и срезания. При скалывании зерно разрушается на части в местах концентрации нагрузок (рис. 1,г), а в процессе раздавливания – под действием нагрузок по всему объему в случае, когда внутреннее напряжение в нем превысит предел прочности сжатия (рис. 1,д).

При разрезании зерно делится на части заданной формы и размеров в результате разрушающего действия режущих рабочих органов (рис. 1, е).

Целесообразность и эффективность применения того или иного способа разрушения определяется физико-механическими свойствами зернового материала и требованиями к его гранулометрическому составу.

В зависимости от конструктивного оформления рабочих органов измельчителей их технологический процесс может осуществляться по одному, или одновременно по нескольким из указанных способов. Измельчения прочных и хрупких материалов целесообразно осуществлять раздавливанием и изломом, а крепких и вязких – раздавливанием и истиранием. Крупное измельчение мягких и хрупких материалов желателно выполнять скалыванием, среднее и мелкое – ударом.

В промышленности измельчение материалов проводят, как правило, сухим способом. Реже применяют влажный способ измельчения, когда в загрузочные устройства машин распыляют воду для уменьшения пылеобразования [13].

Как правило, в измельчителях зерна применяют следующие комбинации различных способов его разрушения: разрушение ударом и истиранием при воздействии на объект рабочих органов, которые быстро вращаются; разрушение сжатием и сдвигом (скалыванием или крошением) при воздействии на объект двух поверхностей, одна из которых

движется быстро, а другая движется с незначительной скоростью, или остается неподвижной; разрушение сжатием, смещением и растиранием при воздействии на объект двух поверхностей, одна из которых подвижная, а другая неподвижная; разрушение раздавливанием или прокаткой (сжатием) частиц между двумя поверхностями, движущимися с одинаковой скоростью. При выборе конкретной комбинации способов измельчения фуражного зерна с целью приготовления концентрированных кормов выходят из необходимого модуля помола с минимально возможным отклонением размера отдельных частиц от номинального значения и отсутствии пылевидной фракции в измельченном продукте.

Разрушение ударом и истиранием характеризуется высокой универсальностью как в отношении возможности измельчения различных видов материалов, так и в отношении степени их измельчения. Оно нашло широкое применение в угольной, комбикормовой, химической, строительной и других отраслях промышленности и при измельчении и смешивании силосованных кормов [3,4,6,13,18]. К недостаткам этого принципа следует отнести сравнительно высокие удельные затраты энергии (в основном, на вращение и удаление продукта) и наличие в измельченном продукте значительного количества пылевидной фракции [2,8,10]. В связи с этим, применение данного принципа с целью производства концентрированных кормов не всегда является рациональным.

Разрушение сжатием, смещением и растиранием характерно для жерновых мельниц и позволяет получить различную степень измельчения сухого зерна. Оно применяется для измельчения сухих не маслянистых зерновых материалов и мокрого измельчения, например, для изготовления соевого молока, в сахароваренной и целлюлозно-бумажной отраслях промышленности. Конструктивно жерновые мельницы очень простые, но громоздкие, малопродуктивные, приводят к слишком высокому нагреву продукта и значительно переизмельчают зерновой материал. Поэтому, при приготовлении концентрированных кормов они практически не применяются [3, 8, 10, 18]. Различают две концепции измельчения – поверхностную и объ-

емную. Основы поверхностной концепции в 1867г. были заложены немецким ученым П. Риттенгером [14], согласно которой работа измельчения прямо пропорциональна площади вновь образованной поверхности [12], а удельная работа, необходимая для измельчения тела, пропорциональна поверхностной энергии измельчаемого тела [11]. Работа, затраченная на измельчение тела определяется за выражением [18]:

$$A_R = K_R \cdot \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right) \cdot M, \quad (1)$$

где: K_R - коэффициент пропорциональности Риттенгера, Дж м;
 D – средний размер частиц до измельчения, м;
 d – средний размер измельченных частиц, м;
 M – количество измельчаемых частиц, шт.

Экспериментальные исследования показали, что поверхностная теория адекватно описывает процесс лишь при тонком измельчении, когда в результате образуется продукт с высокоразвитой удельной площадью поверхности [11]. Для грубого измельчения В.Л. Кирпичев в 1874г. предложил объемную теорию, согласно которой работа измельчения прямо пропорциональна объему деформированной части тела [13]. В литературных источниках данную теорию еще называют гипотезой немецкого профессора Ф. Кика [14], который опубликовал свой труд в 1885 году. Согласно объемной теории, работа, затраченная на измельчение тела составляет [18]:

$$A_K = K_K \cdot \left(\lg\left(\frac{1}{d}\right) - \lg\left(\frac{1}{D}\right) \right) \cdot M, \quad (2)$$

где: K_K -коэффициент пропорциональности Кирпичева – Кика, Дж.

Объемная теория Кирпичева – Кика дает более точные результаты при расчетах процессов грубого измельчения, при которых энергия, в основном, расходуется на упругие деформации тела, а удельная площадь поверхности изменяется незначительно [17]. Обе теории достаточно односторонние и не учитывают влияния конкретных условий процесса измельчения на его энергоемкость. В связи с этим, в 1952г. Ф. Бонд предложил

комбинированную теорию измельчения. Он предположил, что работа, которая затрачена на измельчение тела, пропорциональна среднему геометрическому из его объема и площади поверхности [18]:

$$A_B = K_B \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right), \quad (3)$$

где: K_K – коэффициент пропорциональности Бонда, Дж.

Позже ученые А.К. Рундквист и Р. Чарльз общими усилиями нашли эмпирическую зависимость, которая позволила несколько усовершенствовать рассмотренные теории:

$$\begin{aligned} A_R &= K_R \cdot D^2, \\ A_K &= K_K \cdot D^3, \\ A_B &= K_B \cdot D^{2,5}. \end{aligned} \quad (4)$$

Полученные эмпирические зависимости многозначные, но не инвариантны по отношению к условиям эксперимента и выражают лишь определенные варианты протекания процесса измельчения. Учитывая, что при измельчении одновременно получаем частицы различных размеров, П.А. Ребиндер в 1928г. предложил объединить обе концепции в одну и рассматривать общую работу измельчения как сумму двух составляющих [14]:

$$A_{RB} = \omega \cdot \Delta S + A_D \cdot \Delta V, \quad (5)$$

где: ω – отношение удельной энергии к единице поверхности тела, Дж/м²;
 ΔS – площадь поверхности частиц, образованных в процессе измельчения, м²;
 A_D – отношение удельной работы упругой и пластической деформации в единице объема твердого тела, Дж/м³;
 ΔV – объем тела, подлежащего деформации, м³.

Первая составляющая выражения (5) представляет собой энергию, которая расходуется на образование новых поверхностей при разрушении тела, а второй элемент выражения отображает работу деформации в объеме тела [18].

В развернутом виде формула закона измельчения П.А. Ребиндера имеет следующий вид [12]:

$$A_{RB} = A_0 + p \cdot \frac{\sigma_p^2 \cdot V}{2 \cdot E} + \omega \cdot \Delta S \cdot i^n, \quad (6)$$

где: A_0 – работа, затраченная на деформацию и износ рабочих органов дробильных машин, Дж;

p – количество циклов деформации (разрушения) частиц материала;

σ_p – разрушающее напряжение измельчаемого материала;

E – модуль упругости измельчаемого материала;

V – объем измельчаемого материала;

ω – отношение удельной энергии к единице поверхности тела;

ΔS – площадь поверхности частиц, образованных в процессе измельчения;

i^n – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности дробильных машин и условия процесса измельчения.

Приведенные выше выражения нельзя использовать при расчетах, в результате которых необходимо найти абсолютное значение работы, так как неизвестны значения коэффициентов пропорциональности. Эти формулы применяют лишь для сравнительных расчетов с целью выявления относительной величины работы, которая расходуется на измельчение [19].

В 1952 г. С.В. Мельников, опираясь на основной закон измельчения П.А. Ребиндера, предложил эмпирическую зависимость для определения общей работы, которая расходуется на измельчение зерна [14]:

$$A_M = C_{np} [C_v \cdot \lg \eta^3 + C_s (\eta - 1)] , \quad (7)$$

где: C_{np} – безразмерный коэффициент, зависящий от принципа действия и конструктивных особенностей измельчителя (определяется экспериментально);

C_v – коэффициент, определяющий работу упругих деформаций на единицу массы материала, кДж/кг;

η – степень измельчения материала;

D – средний размер зерна до измельчения, мм;

d – средний размер частицы зерна после измельчения, мм;

C_s – коэффициент, определяющий работу по созданию новых поверхностей при измельчении на единицу массы материала, кДж/кг.

Значения коэффициентов в выражении (7) выбирают из справочной литературы с учетом свойств материала и его влажности [1,9,12]. На их величину оказывают значительное влияние структурно-механические свойства зерна, особенно его размеры и плотность.

Выражение (7) предназначено только для определения величины работы измельчения с целью использования ее значения как критерия энергоемкости при сравнении дробильных машин, а также при выборе наиболее эффективных технологических режимов их работы [20].

Анализ теоретических исследований показал, что существующие выражения для определения работы измельчения зернового материала не могут быть использованы для определения ее абсолютных значений.

Пропускная способность молотковых дробилок определяется выражением [7]:

$$Q_p = L \cdot l_p \cdot \gamma_{ш} \cdot I , \quad (8)$$

где: Q_p – пропускная способность дробилки, кг/с;

L – ширина рабочей камеры, м;

l_p – длина развертки решетчатой поверхности, м;

$\gamma_{ш}$ – плотность перерабатываемого слоя сырья, кг/м³;

I – интенсивность просеивания готового продукта через сито, м/с;

$d_{от}$ – размер отверстий сита, м;

$i_{от}$ – количество отверстий на единицу площади решета, м²;

v_r – радиальная скорость сырья в камере, м/с;

f_p – степень заполнения камеры измельчения сырьем;

φ – угол наклона абсолютной скорости сырья к радиусу камеры.

$$I = d_0^2 \cdot i_0 \cdot v_r \cdot (1 - f_p) \cdot (1 - 0,215 \cos \varphi) .$$

Современные молотковые дробилки обеспечивают эффективную работу с пропускной способностью от 0,15 до 6,0 кг/с при скорости вращения ротора в пределах 35...120 м/с [14, 18, 20, 23]. Качество работы дробилок существенно зависит от формы и параметров молотков [5], их массы и скорости [15, 17, 22], размеров камеры измельчения [5] и ряда других факторов.

Количество молотков на роторе характеризуется коэффициентом плотности K_r , который определяет их общую толщину, которая приходится на единицу ширины камеры измельчения [15]:

$$K_r = \frac{\delta \cdot Z_m}{L}, \quad (9)$$

где: δ – толщина молотка, м;

Z_m – количество молотков на роторе, шт.

L – ширина камеры измельчения, м.

Повышение качества измельчения достигается уменьшением зазора между концами молотков и решетом до минимального значения [2, 5], но с точки зрения безопасности работы дробилки он не должен быть меньше 20 мм [13, 15, 16, 19]. В процессе работы молотки изнашиваются, их масса меняется и зазор растет, что негативно влияет на качество измельчения и динамику дробилки в целом. Для уменьшения износа молотков предложен ряд технических решений [5,6,8,14], однако их эффективность недостаточно высока.

Процесс измельчения зернового материала молотковой дробилкой с учетом положений марковских процессов можно описать математической моделью [15]:

$$P_n(t) = e^{-\lambda \cdot \ln t} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot \ln t})^{n-1}, \quad (10)$$

где: $P_n(t)$ – вероятность образования n частиц измельченного зерна за время t ;

e – основание натурального логарифма;

λ – константа процесса.

Применение молотковых дробилок при малой подаче зерна неэффективно и сопровождается образованием значительного количества пылевидной фракции. Кроме того, их конструкция не учитывает физико-механические особенности различных видов зерновых материалов.

ВЫВОДЫ

Способ измельчения и тип измельчителя, а также параметры и режимы его работы существенно зависят от физико-механических свойств зерновых материалов и определяются из условий минимизации затрат энергии при разрушении. Наиболее существенно на процесс разрушения зерна влияют его механические свойства, которые зависят от культуры, сорта, влажности, размеров и степени созревания, а также способа

приложения механической нагрузки (удар, сжатие, истирание и т.д.).

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показал, что измельчение ударом с минимизацией трения зерна по рабочим органам измельчителя значительно уменьшает содержание пылевидной фракции в готовом продукте и является наиболее энергосберегающим способом по сравнению с другими. Возникла необходимость в проведении дополнительных исследований по обоснованию конструкции, параметров и режимов работы измельчителя зерна, способного обеспечить необходимое качество измельчения согласно зоотехнических требований при минимальных энергетических затратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adler Yu.P. 1986: Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimalnykh resheniy / Yu.P. Adler, Ye.V. Makarov, Yu.V. Granovskiy. – М.: Nauka. – 215.
2. Aleshkin V.R. 1999: Issledovaniye vozdushnogo rezhima drobilki furazhnogo zerna / V.R. Aleshkin, N.F. Barnakov, M.S. Poyarkov // Energoberegayushchiye tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva mekhanizatsii zhivotnovodstva Severo-Vostoka Rossii: Mater. nauchno-prakt. konf. – Kirov, – Т.2. – 57–63.
3. Altshteyn O.Ya. 1937: Razmolno-drobilnyye mashiny kombikormovogo proizvodstva / O.Ya. Altshteyn, V.I. Fedeyev. – М. – 165.
4. Belyankin F.P. 1957: Deformativnost i soprotivlyayemost drevesiny kak uprugovyazko-plastichnogo tela / F.P. Belyankin, V. F. Yatsenko. – К.: Izd. AN. USSR. – 200.
5. Boyko A.I. 1992: Povysheniye dolgovechnosti rabochikh organov kormoizmelchayushchikh mashin konstruktorskotekhnologicheskimi metodami: dis. kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / A.I. Boyko. – К.: – 411.
6. Bondarenko O., Rakul O. 2008. Obosnovaniye kinematiceskikh parametrov pochatko-otdelitel'nogo apparata passivnogo vibratsionnogo deystviya // MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa.–Lublin,–№10V. 124–132.
7. Borshchov V.Ya. 2004: Oborudovaniye dlya izmelcheniya materialov: drobilki i melnitsy:

- uchebnoye posobiye / V.Ya. Borshchev.– Tambov: izd. TGTU. – 75.
8. Butkovskiy V.A. 1981: Tekhnologiya mukomolnogo, krupyanogo i kombikormovogo proizvodstva / V.A. Butkovskiy. – M., Kolos. – 256.
9. Vrasskiy N.V. 1968: Issledovaniya nekotorykh standartnykh sortov pshenits SSSR na prochnost zerna pri razdavlivanii / N.V. Vrasskiy // Sbornik nauchno-issledovatel'skikh rabot Rostovskogo otdeleniya VNIIZ, 1938, vyp. 2.
10. Danilin A.S. Proizvodstvo kombikormov za rubezhom / A.S. Danilin. – M.: Kolos,. – 336.
11. Demidov P.G. 1968: Tekhnologiya kombikormovogo proizvodstva / P.G. Demidov. – M.: Kolos. – 224.
12. Zavrazhnov A.I. 1990: Mekhanizatsiya prigotovleniya i khraneniya kormov: [Uchebniki i ucheb. posobiya dlya studentov vyssh. ucheb. zavedeniy] / A.I. Zavrazhnov, D.I. Nikolayev. – M.: Agropromizdat. – 336.
13. Kirpichev V.L. 1874: / V.L. Kirpichev // Zhurnal Russkogo khimicheskogo obshchestva i fizicheskogo obshchestva, gl. VI, otdel 1. Chast fizicheskaya, vyp. №IX.
14. Melnikov S.V. 1967: Issledovaniye protsessa razrusheniya zerna udarom / S.V. Melnikov, F.G. Plokhov // Zap. LSKhI – T.108. – Vyp. 2. – 212–218.
15. Revenko Yu.I. 2007: Udoskonalennyya tekhnologichnogo protsesu aparatu dlya prigotovannyya kombikormiv v umovakh gospodarstv: dis. kandidata tekhn. nauk : 05.05.11 / Revevenko Yuliy Ivanovich. – K.: – 154.
16. Sidenko P.M. 1977: Izmelcheniye v khimicheskoy promyshlennosti / P.M. Sidenko. – [2-e izd., pererab]. – M.: Khimiya. – 368.
17. Solomka O.V. 2009: Analiz protsesu podribnennyya zernovikh materialiv / O.V. Solomka, V.P. Kovbasa // Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka: Vdoskonalennyya tekhnologiy ta obladnannyya virobnitstva produktsii tvarinnitstva. – Kharkiv. – Vip. 78. – 132–140.
18. Syrovatka V.I. 1963: Issledovaniye osnovnykh zakonomernostey protsessa izmelcheniya zerna v molotkovoy drobilke kormov: dis. kand. tekhn. nauk: 05.20.01 / V.I. Syrovatka – M. – 129.
19. Timoshenko S.P. 1975: Teoriya uprugosti / S.P. Timoshenko, Dzh. Gudyer. – M.: Nauka. – 575.
20. Shagdyrov I.B. 2001: Osnovnyye trebovaniya k izmelcheniyu furazhnogo zerna pered vskarmlivaniyem. / I.B. Shagdyrov, A.I. Darkhanov, M.B. Baldanov // Buryatskiye agrarnyye informatsionnyye novosti. – №5. – 34–38.
21. Shpakov A.S. 1993: Energeticheskaya effektivnost zernovykh kultur / A.S. Shpakov, N.V. Grishina // Kormoproizvodstvo. – №1. – 5–6.
22. Lasher R.E. 1959: Hammer mill / R.E. Lasher // American miller. – №3. – 18.
23. Cherednichenko I. 2009: Effektivnost raboty pnevмотransportiruyushchikh mashin pri vibratsionnom vozdeystvii na aerodnishche smesitelnykh kamer // MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa.– Simferopol – Lublin, – №11B. – 156–163.

FAILURE ANALYSIS OF GRAIN BLOW

Summary. This paper analyzes different ways of destroying grain based on its physical and mechanical properties are determined according to the analytical calculation of the basic parameters of different types of shredders.

Key words: destruction, impact, abrasion, chipping, crushing, cutting, surface grinding theory, body theory grinding parameters.