

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МОЛОТКОВЫХ ДРОБИЛОК НА ОСНОВЕ БИОНИЧЕСКИХ СРАВНЕНИЙ

Бабицкий Л.Ф., д.т.н.,

Москалевич В.Ю., к.т.н.

Южный филиал НУБиП Украины «Крымский агротехнологический университет»

Тел. (0652) 26-38-23

Аннотация – на основе биомеханической модели человеческой руки предложены составные молотки кормодробилки с многоступенчатой формой рабочих поверхностей, обеспечивающей увеличение их ресурса. Проведенный анализ кинематических параметров показал, что предложенные молотки имеют лучшую устойчивость движения по сравнению с прямоугольными.

Ключевые слова – кормодробилка, молоток, биомеханика, сила инерции, устойчивость движения.

Постановка проблемы. Обеспечение животноводческой отрасли качественными кормами является необходимым условием её устойчивого развития. Важное практическое значение при их приготовлении имеет исследование процессов измельчения компонентов корма, позволяющее находить пути к совершенствованию дробильных машин, правильно подбирать типы их рабочих органов для заданного материала, вести процесс измельчения с минимальными затратами энергии и получать необходимый технологический эффект.

Анализ последних исследований. Процесс измельчения связан с большими затратами энергии, на величину которых оказывают влияние:

- физико-механические свойства материала (твёрдость, прочность, пластичность, влажность, вид и сорт культуры, размер и форма частиц);
- форма и параметры рабочих органов дробильной машины, режим их работы;
- степень измельчения.

В молотковых дробилках сельскохозяйственного назначения материал измельчается путем многократного ударного воздействия молотков и истирания при проходе их в среде рыхлого движущегося слоя. Разрушающее воздействие на материал оказывают и пассивные рабочие органы – деки и решета. Острые грани рифлей дек и кромки отверстий решёт действуют как резцы, де-

формируя частицы материала, расположенные на внешней стороне циркулирующего кольцевого слоя. Частицы, расположенные в средней части слоя в зазоре между молотками и решетом, также подвергаются деформации в результате ударной волны от молотков по слою и взаимных перемещений, обусловленных разностью скоростей частиц. Таким образом, из конструктивных факторов наиболее существенное значение имеет конструкция рабочих органов – молотков. Молотки применяются пластинчатые или объемные. Пластинчатые молотки делятся на прямоугольные – как с прямыми, так и со ступенчатыми концами, и фигурные, а объемные – на сплошные и составные. В кормодробилках отечественного производства применяют преимущественно пластинчатые молотки – прямоугольные или со ступенчатыми концами. Наличие двух отверстий и симметричность формы позволяют при износе рабочих поверхностей молотков переворачивать их с целью максимального использования ресурса [2, 3].

Энергоемкость размола велика и увеличивается при изнашивании рабочих органов. Быстрее всего изнашиваются молотки, решета, подшипники, диски. Работа дробилки с неисправными деталями приводит к резкому снижению качества дробления. Исследования, проведенные МИМСХ, показали, что при значительном износе молотков наблюдалось 30...40% целых, не раздробленных зерен [4].

С увеличением количества острых кромок воздействие на слой материала интенсифицируется. Износ каждой кромки, по сравнению с прямоугольным молотком, при этом уменьшается, а степень воздействия этих молотков на слой выше, чем у прямоугольных молотков.

Многочисленными исследованиями установлено, что эффективность работы молотковой дробилки в значительной мере определяется величиной импульса удара, который равен произведению массы измельчаемой частицы на скорость молотка в направлении удара. Скорость в этом направлении равняется окружной скорости молотка, если его рабочая грань совпадает с радиусом, проведенным через шарнир подвеса из центра вращения дробильного барабана. В этом случае происходит прямой удар по измельчаемой массе, действие которого наиболее эффективно [4].

В процессе работы, в зависимости от состояния дробильного аппарата, сопротивления среды, конструкции молотка рабочая грань отклоняется на некоторый угол от радиуса барабана. При этом проекция окружной скорости молотка на линию удара и эффективность дробления продукта уменьшаются. У всех молотков крайний от центра вращения зуб изнашивается быстрее, чем другие. По мере изнашивания рабочие грани приобретают наклон по отношению к радиусу барабана. В результате отклонение молотка увеличивается, а проекция скорости и импульс удара соответственно уменьшаются. У молотков с изношенными до основания зубьями угол наклона рабочих граней крайнего зуба к радиусу барабана составляет 80-90°. При этом импульс удара может уменьшаться практически до нуля. Чтобы молотки при отклонении прямо ударяли по измельчаемому материалу, во ВНИИМЭСХ предложено уступы на их концах выполнять не прямыми, а скошенными. Этот метод выбран с таким расчетом, чтобы при

отклонении молотка его рабочие грани занимали положение, близкое к радиальному [3].

Постановка задачи. Исходя из рассмотренного, можно предположить, что достичь улучшения качества дробления можно:

– изменением типа рабочих органов повысить активность измельчаемого слоя;

– увеличением активной рабочей поверхности молотков и улучшением устойчивости их движения повысить степень воздействия на измельчаемый материал.

Основная часть. Молотки, ударяя по материалу, который подходит к дробильной камере, разбивают его. При движении молотка с угловой скоростью он ударяет по слою материала с силой P , которая равна реакции слоя N , т.е.

$$\bar{P} = -\bar{N}.$$

Для эффективной работы молотка необходимо, чтобы он как можно меньше отклонялся под действием реакции слоя и скорее возвращался в рабочее положение восстанавливающей силой. Шарнирно подвешенный молоток дробилки работает по принципу физического маятника, прикрепленного к быстро вращающемуся диску барабана. Отличие состоит в том, что молоток работает в поле центробежной силы переносного вращательного движения, которая является восстанавливающей. В общем случае устойчивость движения молотка дробилки зависит от его размеров и массы, а также от угловой скорости вращения барабана.

Для обоснования конфигурации молотка, обеспечивающей повышение интенсивности его воздействия на материал, рассмотрим модель верхней конечности человека. Согласно результатам биомеханических исследований [1], она представляется системой из двух или трёх основных подвижных звеньев с шарнирами 4 (рис. 1а). Из практики выполнения человеком работ с использованием молотка известно, что плечевой удар, в котором участвуют плечо 1, предплечье 2 и кисть 3 с молотком, эффективнее локтевого с участием только звеньев 2 и 3. Это даёт возможность предположить, что составной молоток дробилки будет более эффективным. На основании этого предлагается выполнять молоток из двух шарнирно соединённых частей. Его можно получить сочетанием прямоугольного молотка, закреплённого на барабане, со ступенчатым молотком на противоположном конце первого (рис. 1б). Наличие четырёх отверстий и симметричность формы второй части молотка позволит увеличить его ресурс, так как при износе имеется возможность переставлять его 4 раза по всем отверстиям и, повернув на 180° , также переставлять 4 раза, т.е. всего 8 раз.

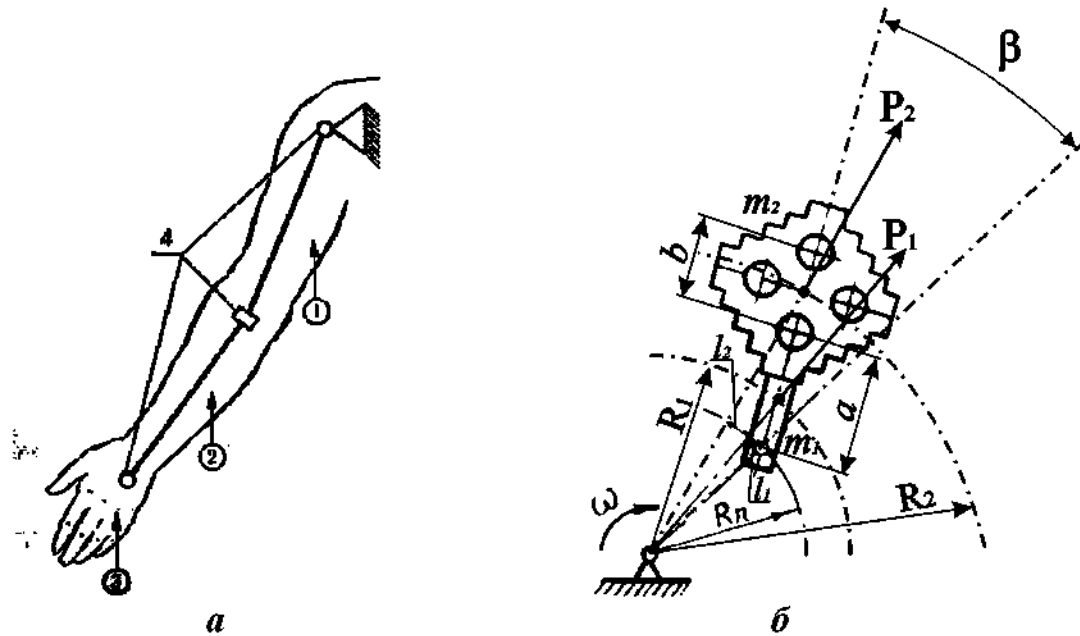


Рис. 1. К обоснованию конфигурации молотка дробилки:
 а – модель руки человека; б – схема сил, действующих на молоток

Для проверки предположения о лучшей устойчивости движения предлагаемого составного молотка по сравнению с прямоугольным такой же массы сопоставим величины их кинетических моментов и действующих на них восстанавливающих сил при отклонении от рабочего положения.

Кинетические моменты прямоугольного p_n массой m и составного p_c массой $m_1 + m_2$ молотков соответственно будут:

$$p_n = m R_1^2 \omega, \quad (1)$$

$$p_c = (m_1 R_1^2 + m_2 R_2^2) \omega, \quad (2)$$

где R_1 и R_2 – радиусы вращения центров масс;
 ω – угловая скорость вращения барабана.

В соответствии с рис. 1б:

$$R_1 = R_n + \frac{a}{2}, \quad (3)$$

$$R_2 = R_n + a + \frac{b}{2}, \quad (4)$$

где R_n – радиус подвеса молотка;
 a и b – расстояния между осями крепления молотков.

На ось подвеса молотка действует центробежная сила, приложенная в центре его тяжести:

$$P_{ц} = m \omega^2 R,$$

где m – масса молотка;
 ω – угловая скорость вращения барабана;

R – расстояние от точки приложения силы (центра тяжести молотка) до оси барабана.

При ударе молотка об измельчаемый материал он отклоняется на угол β , поворачиваясь вокруг оси подвеса. При этом возникает восстанавливающий момент $M_{\text{вост}}$, который для прямоугольного и составного молотков составит соответственно:

$$M_{\text{вост}}^{\text{п}} = P \cdot l_1 = m \omega^2 R_1 l_1, \quad (5)$$

$$M_{\text{вост}}^{\text{с}} = P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2 = (m_1 R_1 l_1 + m_2 R_2 l_2) \omega^2, \quad (6)$$

где P – сила инерции, действующая на прямоугольный молоток;

P_1 и P_2 – силы инерции, действующие на соответствующие части составного молотка;

l_1 и l_2 – плечи действия соответственно сил P_1 и P_2 .

Из формул (5) и (6) видно, что наибольшее влияние на восстанавливающий момент $M_{\text{вост}}$ оказывают масса и форма молотка (плечи приложения центробежных сил, расположение центра тяжести частей молотка). Расчёты по выражениям (1) – (6) с использованием программы MathCAD Pro показывают, что при

$$m = m_1 + m_2 = 0,25 \text{ кг,}$$

$R_n = 300$ мм, $a = 50$ мм и $b = 40$ мм кинетический момент составного молотка больше в 1,18 раза, а восстанавливающий момент при его отклонении – в 2,45 раза, чем у прямоугольного. Следовательно, предлагаемый составной молоток будет меньше отклоняться под действием реакции измельчаемого материала и быстрее возвращаться в рабочее положение, что доказывает значительное его преимущество в отношении устойчивости движения.

Выводы. Предложенные на основе биомеханической модели человеческой руки составные молотки кормодробилки имеют увеличенные в 1,18 раза кинетический момент и 2,45 раза восстанавливающий момент по сравнению с прямоугольными молотками при одинаковой массе, а также больший ресурс за счет многоступенчатой формы рабочих поверхностей. Оснащение дробилки предлагаемыми молотками будет способствовать снижению энергозатрат при измельчении кормов.

Литература

1. *Зациорский В.М.* Биомеханика двигательного аппарата человека / В.М. Зациорский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
2. Кормодробилки: конструкция и расчёт / Под ред. к.т.н. Г.С. Ялчачика. – Запорожье: Коммунар, 1992. – 290 с.
3. *Кукта Г.М.* Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.

4. *Статних Н.Н.* Обоснование и исследование новых типов молотков дробилок / Н.Н. Статних, А.С. Клебан, Л.Ф. Бабицкий // Подготовка и раздача кормов на фермах: научные труды УСХА. – Вып. 68. – Киев, 1971. – С. 3-15.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МОЛОТКОВИХ ДРОБАРОК НА ОСНОВІ БІОНІЧНИХ ПОРІВНЯНЬ

Бабицький Л.Ф., Москалевич В.Ю.

Анотація

На основі біомеханічної моделі людської руки запропоновані складені молотки кормодробарки з багатоступінчатою формою робочих поверхонь, що забезпечує збільшення їх ресурсу. Проведений аналіз кінематичних параметрів показав, що запропоновані молотки мають кращу стійкість руху в порівнянні з прямокутними.

INCREASE OF EFFICIENCY OF WORK HAMMERS CRUSHERS ON THE BASIS OF BIONIC COMPARISONS

L. Babitsky, V. Moskalevich

Summary

On the basis of biomechanics model of human hand the component hammers of forage-crusher are offered with the multi-stage form of working surfaces, providing the increase of their resource. The conducted analysis of kinematics parameters showed that the offered hammers had the best stability of motion as compared to rectangular.