

УДК 631.363.2

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕЖВАЛЬЦОВОГО ЗАЗОРА И СООТНОШЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ВАЛЬЦОВ ПРИ ДВУХСТАДИЙНОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЗЕРНА

Н.А. Воробьев,

проректор по учебной работе и производству БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

С.А. Дрозд,

ассистент каф. стандартизации и метрологии БГАТУ

В статье приводятся результаты теоретических исследований по обоснованию предельного значения межвальцового зазора и соотношения скоростей валцов первой стадии при двухстадийном измельчении.

Ключевые слова: двухстадийное измельчение, вальцовый измельчитель, измельчение зерна.

The article presents the results of theoretical studies to substantiate the limiting value of the roll space and the speed ratio of the first stage rollers with two-stage grinding.

Keywords: two-stage grinding, roller mill, grain grinding.

Введение

В структуре продукции сельского хозяйства Республики Беларусь продукция животноводства составляет 53 %. По производству продукции животноводства на душу населения Беларусь занимает первое место среди стран СНГ [1]. При этом животноводство полностью зависит от состояния растениеводства: около 70 % в общей себестоимости животноводческой продукции занимают корма [2].

Основу полнорационного корма составляют концентрированные корма, основной частью которых является зерно. В Республике Беларусь в 2017 году было собрано 8 млн тонн зерна, из них около 3 млн т пошло на кормовые цели, в том числе для производства комбикормов [1]. Важнейшей технологической операцией производства комбикорма является измельчение зерна [3, 4].

Анализ способов и технических средств измельчения зерна выявил ряд проблем: высокие удельные энергозатраты процесса измельчения, низкий процент содержания требуемой фракции в измельченном зерне, невысокая производительность измельчающего оборудования [5].

Одним из направлений решения вышеприведенных проблем является создание комбинированной технологии и машины, которая совместит две стадии измельчения зерна, что позволит не только сократить энергоемкость процесса, но при этом повысить качество и однородность измельченного материала.

Анализ исследований в области многостадийного измельчения зерна подтверждает, что применение данного способа позволяет снизить удельные энергозатраты процесса измельчения, повысить производительность и степень измельчения, увеличить содержание требуемой фракции в измельченном зерне, при этом снизить содержание пылевидной фракции и по-

падание целых зерен в конечном продукте [6]. Однако при большом количестве исследований двухстадийного измельчения зерна отсутствуют исследования процесса измельчения при сочетании вальцового измельчения на первой стадии и молоткового ротора с вертикальной осью вращения на второй. Не изучалось также влияние соотношения скоростей валцов и межвальцового зазора для первой стадии измельчения на эффективность двухстадийного измельчения зерна [7].

Цель настоящей работы – обосновать теоретическим путем предельное значение межвальцового зазора и соотношения скоростей валцов первой стадии при двухстадийном измельчении.

Основная часть

Обоснование межвальцового зазора в вальцовом измельчителе будет осуществляться исходя из минимизации удельных энергозатрат на разрушение за счет исключения компрессионного сжатия зерна. Введем допущение, что зерно будет разрушаться между двумя гладкими валцами в замкнутом пространстве.

Следовательно, когда объем полости, в которой происходит сжатие, станет равным объему разрушаемого зерна, начнется компрессионное сжатие зерна, которое сопровождается уплотнением частиц, что приводит к непропорциональному увеличению силы для дальнейшего разрушения зерна, тем самым повышаются удельные энергетические затраты на его измельчение.

Для предотвращения этого вводится условие, ограничивающее деформацию при сжатии:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{V_{\text{зер}}}{V_{\text{пол}}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{зер}}$ – объем зерна, м³;

$V_{пол}$ – объем полости, в которой разрушается зерно, $м^3$.

Объем полости, в которой происходит разрушение зерна и ограниченной точками ABCD (рис. 1), определяется по формуле:

$$V_{пол} = l_3 \cdot b_3 \cdot \left(h_3 + 2 \left(R_6 - \sqrt{R_6^2 - \frac{l_3^2}{4}} \right) - R_6^2 \left(\arccos \left(1 - \frac{l_3^2}{2R_6^2} \right) - \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{l_3^2}{2R_6^2} \right) \right) \right) \right) b_3 \quad (2)$$

где R_6 – радиус вальца, м;
 l_3 – длина зерна, м;
 b_3 – ширина зерна, м;
 h_3 – толщина зерна, м.

Для определения объема одного зерна введем допущение, по которому его поверхность будет описываться эллипсоидом (рис. 1).

Для нахождения объема зерна используем известную формулу для определения объема эллипсоида [9]:

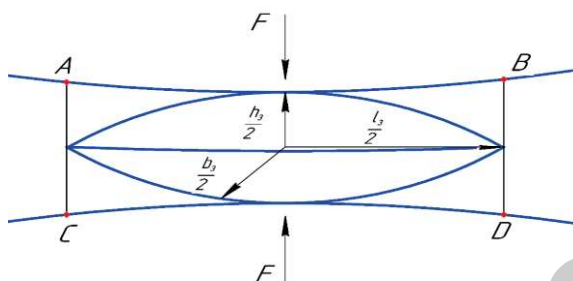


Рис. 1. Схема для расчета объема полости, в которой происходит разрушение, и объема зерна

$$V_{зер} = \frac{1}{6} \pi \cdot l_3 \cdot b_3 \cdot h_3 \quad (3)$$

С учетом формул 2 – 3 условие 1 примет вид:

$$\varepsilon_{max} = \left(\frac{1}{6} \pi \cdot l_3 \cdot b_3 \cdot h_3 \right) \times \left(l_3 \cdot b_3 \cdot \left(h_3 + 2 \left(R_6 - \sqrt{R_6^2 - \frac{l_3^2}{4}} \right) - R_6^2 \left(\arccos \left(1 - \frac{l_3^2}{2R_6^2} \right) - \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{l_3^2}{2R_6^2} \right) \right) \right) \right) \right)^{-1} \quad (4)$$

где $V_{зер}$ – объем зерна, $м^3$;
 $V_{пол}$ – объем полости, в которой разрушается зерно, $м^3$;

R_6 – радиус вальца, м;
 l_3 – длина зерна, м;
 b_3 – ширина зерна, м;
 h_3 – толщина зерна, м.

Расчетным путем по зависимости 4 установлено, что отсутствие компрессионного сжатия наблюдается при деформации до 49 % – 53 % (в зависимости от геометрических размеров зерна).

С учетом формулы 1 минимальное значение межвальцового зазора первой стадии измельчения определяется по формуле:

$$b_{min} = \frac{\varepsilon_{max} (b_3 + h_3)}{2}, \quad (5)$$

где ε_{max} – максимальная степень деформации, исключаяющая компрессионное сжатие;

b_3 – ширина зерна, м;

h_3 – толщина зерна, м.

С учетом геометрических размеров зерна различных сельскохозяйственных культур, при помощи формул 4 и 5 получены теоретические значения минимального межвальцового зазора первой стадии измельчения, исключаяющие компрессионное сжатие: для зерна ячменя – 1,5 мм; для зерна пшеницы – 1,4 мм; для зерна ржи – 1,3 мм; для зерна тритикале – 1,4 мм.

Как показывает практика, при найденных значениях деформации сложно получить степень измельчения, необходимую для откорма большинства животных [8]. Поэтому при указанных зазорах целесообразно вальцовый измельчитель применять в качестве первой ступени измельчения с последующим доизмельчением зерна на молотковом измельчителе.

При различной окружной скорости валцов рифли, нанесенные на валцы, оказывают на зерно разрушительное воздействие не только сжатием, но и сдвигом.

Соотношение окружных скоростей валцов оказывает разрушительное воздействие на зерно на длине дуги:

$$L_{AB} = \frac{\pi \cdot D_6 \cdot \alpha_{6_cd}}{360}, \quad (6)$$

где α_{6_cd} – угол воздействия сдвига на зерно, град;

D_6 – диаметр вальца, м.

В данном выражении угол воздействия сдвига определяет часть окружности вальца, на которой рифли внедряются в зерно и оказывают на него разрушительное воздействие. Его величина равна:

$$\alpha_{6_cd} = \arccos \left(1 - \frac{d_{cp} - b_c}{D_6} \right). \quad (7)$$

где α_{6_cd} – угол воздействия сдвига на зерно, град;

D_6 – диаметр вальца, м;

b_c – средний межвальцовый зазор, м;

d_{cp} – средний диаметр зерна, м.

Длину дуги, которую пройдет быстроходный валец за время прохождения тихоходным вальцом расстояния L_{DK} , определим по формуле:

$$L_{DK} = L_{AB} \cdot i, \quad (8)$$

где i – соотношение окружных скоростей валцов, которое определяется через соотношение скорости вращения быстроходного и тихоходного вальца.

Величина сдвига в этом случае определяется как разность между длиной дуги быстроходного и тихоходного вальца:

$$l_{cd} = L_{DK} - L_{AB} = L_{AB} \cdot i - L_{AB} = L_{AB} (i - 1). \quad (9)$$

С учетом исследований ряда авторов [10, 11], введем ограничение, по которому зерно при измельчении на первой стадии должно сохранить свою геометрическую целостность.

Также введем, что зерно представляет собой шар, средним диаметром d_{cp} . При величине сдвига сверх среднего радиуса r_{cp} до среднего диаметра d_{cp} сохраняется целостность зерна, при сдвиге, превышающем средний диаметр зерна, происходит разрушение зерна. За средний диаметр зерна d_{cp} принимается среднее арифметическое значение ширины b_z и толщины h_z зерна, за средний радиус зерна – половина его диаметра.

Визуальная интерпретация допущений и ограничений представлена на рис. 2.

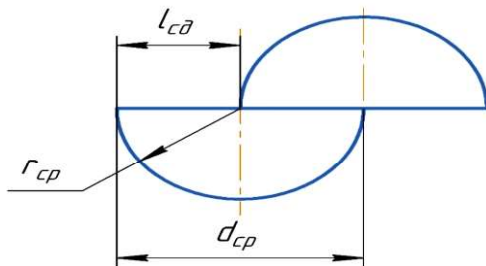


Рис. 2. Схема для определения рационального значения соотношения скоростей валцов

В соответствии с ограничениями и схемой (рис. 2) определим условие, по которому величина сдвига должна находиться в диапазоне между средним радиусом и средним диаметром зерна:

$$r_{cp} \leq l_{cd} \leq d_{cp}. \quad (10)$$

Подставив в условие 10 формулу 9, получим условие, ограничивающее величину соотношения скоростей валцов:

$$\frac{r_{cp}}{L_{AB}} + 1 \leq i \leq \frac{d_{cp}}{L_{AB}} + 1, \quad (11)$$

где i – соотношение скоростей валцов.

Из условия 11 получим выражения для определения максимального и минимального значения соотношения скоростей валцов:

$$i_{\min} = \frac{r_{cp}}{L_{AB}} + 1, \quad (12)$$

$$i_{\max} = \frac{d_{cp}}{L_{AB}} + 1. \quad (13)$$

Подставив в выражения 12 и 13 формулы (6–8), получим формулы для определения максимального и минимального значения соотношения скоростей валцов:

$$i_{\min, \max} = \frac{360d_{cp}}{\pi k_i D_e \arccos \left(1 - \frac{d_{cp} - b_c}{D_e} \right)} + 1, \quad (14)$$

где k_i – безразмерный коэффициент, для i_{\min} (величина сдвига равна среднему радиусу зерна) $k_i = 2$; для i_{\max} (величина сдвига равна среднему диаметру зерна) $k_i = 1$;

D_b – диаметр вальца, м;

d_{cp} – средний диаметр зерна, м;

b_c – средний межвальцовый зазор, м.

Подставив в формулу 14 числовые значения среднего диаметра зерновки $d_{cp} = 0,00295$ м для ячменя, числовое значение среднего приведенного зазора $b_c = 0,00155$ м, значение диаметра валцов $D_e = 0,27$ м, определим, что при межвальцовом зазоре 0,5 мм соотношение скоростей валцов находится в диапазоне 1,09-1,18; при 1,0 мм – 1,11-1,22; при 2,0 мм – 1,20-1,40.

С учетом рассчитанного теоретического значения межвальцового зазора 1,3-1,5 мм, значение соотношения скоростей между валцами должно составить 1,12-1,28.

Заключение

Теоретически получено, что степень деформации зерна на вальцовой ступени измельчения не должна превышать 53 %. Учитывая, что средний диаметр зерна находится в диапазоне 2,5-3,0 мм, значение минимального межвальцового зазора для первой ступени измельчения должно быть 1,3-1,5 мм, а соотношение скоростей между валцами – 1,12-1,28.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб./ И.В. Медведева [и др.]. – Минск: Национальный стат. комитет Республики Беларусь, 2018. – 229 с.
2. Попков, Н.А. Состояние и перспективы животноводства Беларуси / Н.А. Попков, И.П. Шейко // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. трудов / Научно-практич. центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству. – 2008. – вып. № 43, т. 1. – С. 3-7.
3. Шило, И.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства: монография / И.Н. Шило, В.Н. Дашков. – Минск: БГАТУ, 2003. – 183 с.
4. Руководство по технологии комбикормов, белково-витаминно-минеральных концентратов и премиксов: в 2-х т. / В.А. Афанасьев [и др.]. – Воронеж: ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт», 2008. – Т. 2. – 294 с.
5. Дашков, В.Н. Совершенствование технических средств для измельчения фуражного зерна / В.Н. Дашков, Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 23-28.
6. Анализ исследований в области двухстадийного измельчения зернофуража / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2015. – С. 65-68.
7. Воробьев, Н.А. Способ и устройство для двухстадийного измельчения зерна / Н.А. Воробьев,

С.А. Дрозд // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. «Белагро-2019». – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 254-260.

8. Воробьев, Н.А. Анализ зоотехнических требований к качеству измельчения зерна на кормовые цели / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 267-268.

9. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн. – М.: Наука, 1981. – 704 с.

10. Елисеев, В.А. Исследование процесса измельчения зерна ударом / В.А. Елисеев: дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 1962. – 189 с.

11. Соловьев, И.К. Исследование механики процесса дробления ингредиентов комбикормов в молотковые дробилки: дис. ... канд. техн. наук / И.К. Соловьев. – Ростов-на-Дону, 1961. – 225 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 23.07.2019

УДК 631.356.4.004.17

ОБОСНОВАНИЕ НАГРУЗКИ НА СЕПАРИРУЮЩИЙ ОРГАН КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИЕМНОЙ ЧАСТИ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ПЛОСКОГО ЛЕМЕХА И ДИСКОВЫХ БОКОВИН

Г.А. Радишевский,

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Н.П. Гурнович,

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Г.Н. Портянко,

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

С.Р. Белый,

ст. преподаватель каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ

Е.Ю. Журавский, Н.О. Петроченко, А.С. Мезга,

студенты агромеханического факультета БГАТУ

В статье рассмотрена целесообразность использования приемной части картофелеуборочных машин, состоящей из плоского лемеха и дисковых боковин. Приведены математические зависимости, позволяющие определять эффективность использования приемной части картофелеуборочной машины, состоящей из плоского лемеха и дисковых боковин в сравнении с существующей конструкцией.

Ключевые слова: картофелеуборочная машина, приемная часть, лемех, диск, картофель.

The article considers the feasibility of using the receiving part of potato harvesters, consisting of a flat ploughshare and disk sidewalls. Mathematical dependences allowing determining utilization efficiency of the receiving part of potato harvester, consisting of a flat ploughshare and disc sidewalls in comparison with the existing design are given.

Keywords: potato harvester, receiving part, ploughshare, disc, potatoes.

Введение

Картофель относится к числу важнейших сельскохозяйственных культур. Высокая продуктивность, питательная ценность и хорошая приспособляемость к условиям прорастания обусловили широкое его распространение во многих странах.

В Республике Беларусь картофель – одна из основных возделываемых культур, а его уборка является одним из трудоемких процессов, на который приходится более 60 % затрачиваемого труда на производство.

Наиболее перспективным направлением снижения затрат является повышение производительности за счет увеличения поступательной скорости карто-

фелеуборочной машины. Однако увеличение поступательной скорости машины ограничивается пропускной способностью приемной части и сепарирующей способностью рабочих органов.

Основная часть

Используемые в Беларуси картофелеуборочные машины имеют в приемной части в основном плоские лемеха различной конструкции. При использовании их на рыхлых и сыпучих почвах, наблюдается тенденция к сгуживанию подкапываемого пласта, что приводит к неравномерной подаче клубненосного пласта на сепарирующие рабочие органы (рис. 1). Это