

Н. А. Воробьев, С. А. Дрозд

*УО «БГАТУ»
г. Минск, Республика Беларусь*

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВАЛЬЦОВЫХ И МОЛОТКОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПРИ ДВУХСТАДИЙНОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЗЕРНА

В статье приводятся результаты теоретических исследований по обоснованию параметров и режимов работы вальцового и молоткового измельчителя с вертикальной осью вращения при двухстадийном измельчении зерна. Получены аналитические зависимости для расчета предельного значения межвальцового зазора, соотношения скоростей вальцов первой стадии измельчения, зависимость для расчета количества загрузочных отверстий и необходимой скорости подачи зерна на вторую стадию измельчения. Приводится обоснование углов наклона рифлей деки второй стадии измельчения.

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

N. A. Vorobiev, S. A. Drozd

*UO "BSTU"
Minsk, Republic of Belarus*

THE ORETICAL SUBSTANTIATION OF THE ROLLER AND HAMMER WORKING BODIES IN THE TWO-STAGE GRINDING

The article presents the results of theoretical studies to substantiate the parameters and operating modes of the roller and hammer mill with a vertical axis of rotation during two-stage grinding of grain. Analytical dependences are obtained for calculating the limit value of the inter-roll gap, the ratio of the speeds of the rollers of the first grinding stage, the dependence for calculating the number of loading holes and the required feed rate of grain to the second grinding stage. The substantiation of the slope angles of the deck of the second grinding stage is given.

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

Введение

Одним из самых важных составляющих комбикорма является зерно. Важнейшей технологической операцией производства комбикорма является измельчение зерна, которое необходимо для обеспечения усвояемости питательных веществ животными.

Для производства комбикормов зерно измельчается с влажностью 13–14% преимущественно молотковыми дробилками, с удельными энергозатратами 8–12 кВт·ч/т, в зависимости от степени измельчения и их конструкции [1,2]. Данный факт свидетельствует о высоких удельных энергозатратах на осуществление подобной операции. Также зерно, измельченное молотковыми дробилками, имеет неравномерную однородность состава.

Данная проблема должна быть решена путем применения новых способов измельчения, одним из которых является комбинированное воздействие различными рабочими органами при измельчении зерна, то есть, двухстадийное измельчение, проводимое путем поэтапного пропуска зернового материала через два различных измельчителя.

В процессе изучения способа двухстадийного измельчения зерна нами были теоретически обоснованы параметры работы вальцовых и молотковых рабочих органов.

Основная часть

Нами предложен и исследован способ двухстадийного измельчения, включающий в себя две стадии измельчения (рис. 1). На первой стадии измельчения предварительное воздействие на зерно вальцами, что способствует нарушению целостности зерновки и образованию в ней ми-

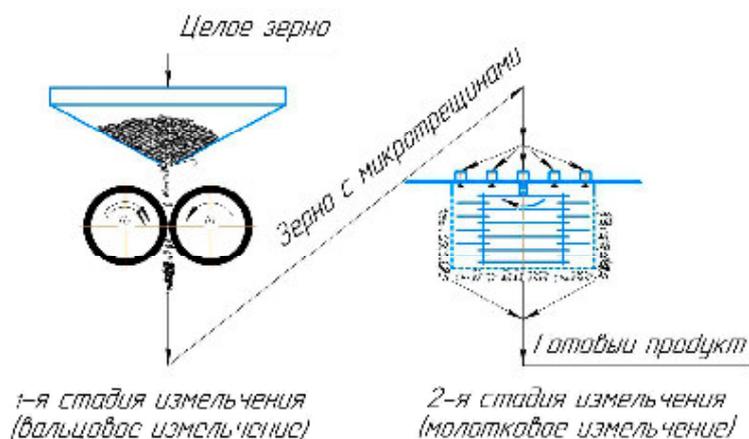


Рис. 1 – Схема исследуемого способа измельчения

кротрещин, тем самым снижается прочность зерна. На второй стадии предварительно разрушенное зерно измельчается молотковым ротором с вертикальной осью вращения до качества, соответствующего зоотехническим требованиям [3].

С целью снижения удельных энергозатрат при производстве комбикормов требуемого качества путем двухстадийного измельчения зерна предложенным способом, выполнено, теоретическое обоснование основных параметров и режимов работы оборудования.

Получена формула для определения максимально значения степени деформации зерна вальцами на первой стадии измельчения, которое исключает компрессионное сжатие зерна:

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

где $V_{ЗЕР}$ – объем зерна, м³; $V_{ПОЛ}$ – объем полости, в которой разрушается зерно, м³; R_6 – радиус вальца, м; l_3 – длина зерна, м; b_3 – ширина зерна, м; h_3 – толщина зерна, м.

Из зависимости 1 видно, что отсутствие компрессионного сжатия наблюдается при деформации до 49–0,53% (в зависимости от геометрических размеров зерна). При таком условии в зерне появляются микротрещины, разрывы оболочки и смещение частиц относительно друг друга. Дальнейшее увеличение давления на зерно приводит к уплотнению измельченных частиц и многократному увеличению энергоемкости вследствие компрессионного сжатия зерна [4].

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

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

где ε_{max} – максимальная степень деформации, исключая компрессионное сжатие, %; b_3 – ширина зерна, м; h_3 – толщина зерна, м.

С учетом геометрических размеров зерна различных сельскохозяйственных культур, при помощи формул 1 и 2 получены теоретические значения минимального межвальцового зазора первой стадии измельчения исключая 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 [4].

Также получено уравнение для определения максимального и минимального значения соотношения скоростей валцов для двухстадийного измельчения зерна

$$i_{\min; \max} = \frac{360d_{cp}}{\pi k_i D_b \arccos \left(1 - \frac{d_{cp} - b_c}{D_b} \right)} + 1, \quad (3)$$

где k_i – безразмерный коэффициент (для i_{\min} $k_i = 2$; для i_{\max} $k_i = 1$); D_b – диаметр вальца; d_{cp} – средний диаметр зерновки, м; b_c – средний межвальцовый зазор, м.

Подставив в формулу 3 числовые значения среднего диаметра зерновки $d_{cp} = 0,00295$ м для ячменя; числовое значение среднего приведенного зазора $b_c = 0,00155$ м; значение диаметра вальцов $D_b = 0,27$ м, определим, что на максимальное и минимальное значения передаточного отношения между вальцами влияет межвальцовый зазор, при его значении 0 мм передаточное отношение должно находиться в диапазоне 1,08–1,16; при межвальцовом зазоре 0,5 мм – 1,09–1,18; при 1,0 мм – 1,11–1,22; при 2,0 мм – 1,20–1,40.

Так как теоретические исследования по определению значения межвальцового зазора показали его значение 1,3–1,5 мм, можно сделать вывод, что теоретически рекомендуемое значение передаточного отношения между вальцами должно составить 1,12–1,28 [4].

На второй стадии разрушение зерна происходит за счет удара молотков при поступлении его в дробильную камеру: соударения частично разрушенного зерна о неподвижные элементы машины, воздействия молотков на подвижную массу продукта, дробления при столкновении частиц друг с другом в дробильной камере и истирания частиц зерна при взаимодействии с другими частицами и элементами дробильной камеры.

Для расчета количества загрузочных отверстий на второй стадии измельчения получена аналитическая зависимость (4):

$$n_{om} = \frac{2\pi}{\arccos \left(1 - \frac{\left(2\sqrt{\frac{S_{om}}{2\pi}} + e_{om} \right)}{R_{op}} \right) \cdot k_{om} + \arctg \left(\frac{\sqrt{\frac{S_{om}}{2\pi}}}{R_{op}} \right)}, \quad (4)$$

где: $S_{от}$ – площадь загрузочного отверстия круглой формы, м²; R_{op} – радиус камеры измельчения, м; e_{om} – наименьшее расстояние от загрузочного отверстия до периферии дробильной камеры, м; k_{om} – поправочный коэффициент, учитывающий разброс зерна после удара и зависящий от диаметра загрузочных отверстий (при диаметре отверстия 20–100 мм, $k_{om} = 1,2–1,4$ соответственно).

Анализируя зависимость (4) можно сделать вывод, что с увеличением радиуса дробильной камеры имеется возможность увеличить количество загрузочных отверстий, что позволяет повысить эффективность процесса за счет увеличения количества одновременно подаваемого зерна, повышая тем самым производительность устройства. При этом суммарная площадь загрузочных отверстий должна обеспечивать пропускную способность потока измельчаемого зерна выше максимально возможной производительности первой стадии измельчения.

Для обеспечения подачи зерна в рабочую зону молотковой камеры на высоту пакета молотков подачу зерна следует осуществлять со скоростью v_{nz} которую можно определить по формуле (5):

$$v_{nz} = \frac{k_m v_m h_m}{\pi D_{рот}}, \quad (5)$$

где: $D_{рот}$ – диаметр молоткового ротора, м; k_m – количество пакетов молотков, шт; v_m – окружная скорость молотка до соударения с зерном, м/с; h_m – высота пакета молотков, м.

По зависимости 5, можно сделать вывод, что необходимая глубина подачи может быть обеспечена за счет увеличения скорости подачи зерна, уменьшения количества пакетов молотков и уменьшения окружной скорости молоткового ротора, при этом обеспечивается увеличение количества подаваемого зерна, одновременно подвергающегося ударам молотков, что способствует повышению производительности второй стадии измельчения зерна.

Проведено теоретическое исследование разрушения зерна на второй стадии измельчения от различных элементов камеры измельчения.

При исследовании взаимодействия зерна с вращающимся молотком на второй стадии измельчения были получены уравнения, показывающие количество кинетической энергии зерна, идущей на его деформацию (6) и количество кинетической энергии, которой зерно будет обладать при отлете от молотка после удара (7).

$$E_{деф} = \frac{m_z v_c^2 - m_z k_s^2 v_c^2}{2}, \quad (6)$$

$$E_{зеп} = \frac{m_z (k_s v_c)^2}{2} + \frac{m_z (v_c + k_s v_c)^2}{2}, \quad (7)$$

где m_z – масса измельченного зерна, кг; v_c – скорость зерна после соприкосновения с молотком, м/с; k_s – коэффициент восстановления скорости зерна (для ячменя – 0,53; ржи – 0,47; пшеницы – 0,50; овса – 0,43 [6]).

Анализируя зависимость 6 и 7 сделан вывод, что количество кинетической энергии, которой зерно обладает при отлете от молотка больше в 2–2,5 раз по сравнению с количеством кинетической энергии зерна, идущей на его деформацию. Для успешного разрушения зерна необходимо обеспечить, чтобы кинетическая энергия, которой обладает зерно при отлете от молотка перешла в энергию деформации. Для этого необходимо обеспечить эффективное соударение зерна с другими элементами камеры измельчения или другими частицами зерна.

Получено уравнение для определения количества кинетической энергии, затраченной на деформацию частиц зерна вследствие их соударения (8):

$$E_{деф_чзс} = \left(\frac{1 - k_s^2}{2} \right) \frac{m_{чзс_1} m_{чзс_2}}{m_{чзс_1} + m_{чзс_2}} (v_{чзс_1} - v_{чзс_2})^2, \quad (8)$$

где $v_{чзс_1}$ – скорость первой (ударяющей) частицы зерна до соударения (принимая ее скорость равной v_z), м/с; $v_{чзс_2}$ – скорость второй (ударяемой) частицы зерна до соударения, м/с; $m_{чзс_1}$ – масса первой (ударяющей) частицы зерна, кг; $m_{чзс_2}$ – масса второй (ударяемой) частицы зерна, кг.

Зависимость (8) позволила сделать вывод, что наибольшее значение кинетической энергии наблюдается при соударении частиц с одинаковой массой. При этом достигается наибольшее снижение скорости обеих частиц, что способствует снижению скорости частиц в зоне измельчения и соответственно более эффективному воздействию молотков на частицы зерна движущиеся в камере измельчения.

Получено уравнение для определения количества кинетической энергии, затраченной на деформацию зерна при его ударе о решето или деку (9):

$$E_{деф_реш} = \frac{m_z (k_s (v_{зп} + k_s v_{зп}) \cos(\alpha_{зп}) \cos(\alpha_2))^2}{2}, \quad (9)$$

где $v_{чзс_1}$ – скорость зерна при ударе о решето или деку, м/с; $\alpha_{зп}$ – угол падения зерна по отношению к решету, рад; α_2 – угол наклона рифлей деки к вертикали, рад.

Анализируя зависимость (9) сделан вывод, что зерно должно ударяться о деку под прямым углом, при этом количество кинетической энергии зерна идущей на пластическую деформацию более чем в 4 раза больше, чем при ударе о гладкое решето.

Для повышения интенсивности измельчения на второй стадии были обоснованы углы наклона рифлей деки (рис. 2).

Получена аналитическая зависимость (10) для нахождения угла наклона передней грани рифли деки к радиусу камеры измельчения:

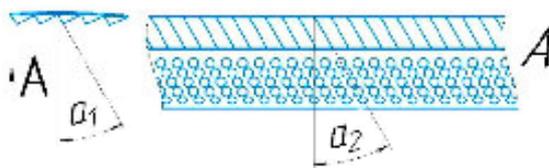


Рис. 2. – Общий вид деки и решета второй стадии измельчения

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{(R_{dp} - r_{om} - e_{om})}{R_{dp}}\right), \quad (10)$$

где: α_1 – угла наклона передней грани рифли деки, рад.

Зависимость (10) позволяет получить значения угла наклона передней грани рифли деки, который обеспечит соударение зерна с решетом под прямым углом, тем самым обеспечивая максимальное разрушение зерна. Анализируя зависимость (10) выявлено, что значение угла наклона передней грани рифли деки должно составлять 35–45°, в зависимости от геометрических размеров и расположения загрузочных отверстий.

Для уменьшения переизмельчения частиц зерна в зоне деки, приводящего к ухудшению качества измельченного материала и повышению удельного расхода энергии на измельчение, применено, за счет угла наклона рифлей деки к вертикали (α_2), выведение зерна из зоны измельчения в зону сепарирования.

По зависимости 9 выявлено, что наличие угла наклона рифлей деки к вертикали (α_2) от 0 до 30° снижает значение кинетической энергии зерна, образовавшейся вследствие удара зерна о деку до 25%, наличие угла (α_2) в диапазоне от 30° до 40° снижает значение кинетической энергии зерна, образовавшейся вследствие удара зерна о деку до 38%, что делает применение деки менее эффективным. Следует, что угол наклона рифлей деки к вертикали (α_2) не должен превышать 30°, данный угол позволит обеспечить перемещение частиц зерна после удара о деку в зону сепарирования, при этом не значительно уменьшит эффективность разрушения зерна при ударе о рифли деки.

Заключение

Предложен способ двухстадийного измельчения зерна, включающий предварительное разрушение за счет воздействия на зерно валцов и окончательное измельчение молотковым ротором с вертикальной осью вращения.

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 будет составлять 1,3–1,5 мм, а соотношение скоростей между вальцами – 1,12–1,28.

Получена аналитическая зависимость для расчета количества загрузочных отверстий в молотковой дробилке с вертикальной осью вращения ротора от диаметра дробильной камеры, места расположения и размеров загрузочных отверстий. Получена аналитическая зависимость для расчета необходимой скорости подачи зерна на вторую стадию измельчения, обеспечивающую проникновение зерна в рабочую зону молотковой камеры на высоту пакета молотков. Обоснованы углы наклона рифлей деки второй стадии измельчения, обеспечивающие повышение интенсивности измельчения зерна при ударе о рифли и вывода измельченного зерна из зоны деформации молотками.

Список использованных источников

1. Машины и оборудование для производства комбикормов: справ. пособ. / В. А. Шаршунов [и др.]. – Минск : Экоперспектива, 2005. – 487 с.
2. Шило, И. Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства: монография / И. Н. Шило, В. Н. Дашков. – Минск : БГАТУ, 2003. – 183 с.

3. 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.

4. Воробьев, Н. А. Теоретическое обоснование межвальцового зазора и соотношения скоростей валцов при двухстадийном измельчении зерна / Н. А. Воробьев, С. А. Дрозд // Агротехнология. – 2019. – № 4. – С. 13–16;

УДК 632.78 (632.08, 639.9)

Поступила в редакцию 11.05.2019

Received 11.05.2019

**В. М. Растегаева³, Н. И. Кулакова³, Н. П. Кузина³, Н. Г. Тодоров³, А. М. Лешкенов⁴,
В. Янкова¹, Е. Станева², Д. Маркова¹, Г. Крумова¹**

¹ *Институт овощных культур «Марица»; г. Пловдив, Болгария; e-mail: vinelina@abv.bg*

² *Институт почвоведения, агротехнологии и защиты растений
им. Николы Пушкарова; г. София, Болгария; e-mail: evdokiastaneva@gmail.com*

³ *Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский центр карантина растений» (ФГБУ «ВНИИКР»),
р.п. Быково, Россия; e-mail: office@vniikr.ru*

⁴ *ООО НПФ «Юг-Агроконсалт»; с. Кахун, Россия; e-mail: agro-center@inbox.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРОМОНА МИНИРУЮЩЕЙ ТОМАТНОЙ МОЛИ *TUTA ABSOLUTA* (MEYRICK) В ЗАЩИТЕ ТОМАТОВ В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА

В работе представлены результаты опытов, проведенных на территории Болгарии и Кабардино-Балкарии, в условиях закрытого грунта на культуре томата. Показана эффективность применения феромонов для массового отлова самцов томатной моли с целью сокращения применения пестицидов и увеличения урожайности и качества томатов. Приведены результаты исследований по аттрактивности разных конструкций феромонных ловушек, расположенных на разных уровнях.

Ключевые слова: томатная моль, биологическая активность, феромоны, диспенсер, водные феромонные ловушки, массовый отлов, борьба, ловушка типа «Дельта», ловушка типа «Ромб», разные уровни.

**V. M. Rastegaeva³, N. I. Kulakova³, N. P. Kuzina³, N. G. Todorov³, A. M. Leshkenov⁴, V. Yankova¹,
E. Staneva², D. Markova¹, G. Krumova¹**

¹ *Maritsa Vegetable Crops Research Institute; Plovdiv, Bulgaria; e-mail: vinelina@abv.bg*

² *N. Poushkarov Institute of Soil Science, Agrotechnologies and Plant Protection Agricultural Academy;
fia, Bulgaria; e-mail: evdokiastaneva@gmail.com*

³ *The Federal State Budgetary Institution All-Russian Plant Quarantine Center (FGBU "VNIKR"); Bykovo, Russia;
e-mail: office@vniikr.ru*

⁴ *ООО НПФ Юг-Агроконсалт; Kahun, Russia; e-mail: agro-center@inbox.ru*

APPLICATION OF TOMATO BORER *TUTA ABSOLUTA* (MEYRICK) PHEROMONE IN THE TOMATO PROTECTION IN PROTECTED GROUND

The article presents the results of experiments conducted in Bulgaria and Kabardino-Balkaria in protected ground on tomato crop. Efficiency of pheromone application for mass trapping of tomato borer males to reduce the use of pesticides and increase the yield and quality of tomatoes are presented. The study's results of the attractiveness of different structures of pheromone traps located at different levels are presented.

Keywords: Tomato borer, biological activity, pheromones, dispenser, water pheromone traps, mass trapping, control, the Delta type trap, the Romb type trap, different levels.

Введение

Томат (*Solanum lycopersicum* L.) повреждается значительным количеством видов насекомых. Однако в последнее время именно томатная моль *Tuta absoluta* стала основным вредителем, вызывающим огромные потери урожая. Большую угрозу она представляет для тепличных хозяйств овощного направления, выращивающих, кроме томата, и другие культуры семейства