

Смесь из гороха и сои (рисунок 2ж). Характеризуется наличием в составе высокого уровня аминокислот и протеина. Является ценным источником доступных углеводов и жиров. Отличается хорошими вкусовыми и ароматическими параметрами. Применяется для всех групп свиноводческого комплекса. Ввод в общий состав комбикормов – до 30 %. Дает быстрые результаты прироста при кормлении молодняка.

Смесь экструдированных гороха и кукурузы (рисунок 2з). Является высокопротеиновой энергетической добавкой в рацион молодняка (особенно поросят). Уровень введения – до 50 %. Позволяет экономить на кормах ввиду наличия высокого уровня протеинов и легкого усвоения. Отличается хорошими вкусовыми качествами, способствует повышению съедания основной еды. Потребление смеси позволяет в короткие сроки приучить молодняка (особенно поросят) к прикорму и к последующему отказу от пищи животного происхождения [2].

Заключение

Таким образом, применение кормов, полученных в результате экструдирования, имеет ряд преимуществ:

– высока усвояемость корма – около 95 % легко усваивается животными в сравнении с дробленным зерном (до 40 %). После экструдирования усвояемость бобовых культур (соя, горох, вика и др.) увеличивается до 10 раз;

– минимальные затраты ресурсов – обрабатывать зерно можно без предварительного сортирования и просушивания. В сырье должна отсутствовать земля, солома, камни и т. д. Экструдированию подвергают даже лежавшее несколько лет в зернохранилище отсыревшее зерно. Обработка отходов зернового производства (гречневая шелуха и др.) позволяет получить питательный корм для свиней, овец и коз;

– хорошее поедание животными за счет приятного хлебного вкуса и аромата.

Литература

1. Официальный Интернет-портал Soft-agro [Электронный ресурс] / Soft-agro. – Киев, 2018. – Режим доступа: <https://soft-agro.com>. – Дата доступа: 02.06.2018.

2. Официальный Интернет-портал «ШМ-Агро» [Электронный ресурс] / «ШМ-Агро». – Дзержинск, 2018. – Режим доступа: <https://шчодры.бел>. – Дата доступа: 02.06.2018.

УДК 631 363:636.085

Поступила в редакцию 05.09.2018

Received 05.09.2018

А. А. Романович

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: nastia.01.02.1986@gmail.com

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГИДРОДИСПЕРГАТОРА

В статье обоснован выбор рабочих органов гидродиспергатора для измельчения зерновых кормов, приведены теоретические исследования по определению параметров его измельчающих рабочих органов.

Ключевые слова: зерно, гидродиспергатор, измельчение, решето, кавитация, гидроудар.

A. A. Romanovich

Educational Establishment «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: nastia.01.02.1986@gmail.com

THEORETICAL STUDIES OF THE PARAMETERS OF THE MILLING WORKING BODIES OF THE HYDRODISPERSER

The article substantiates the choice of the working organs of a hydrodisperser for grinding grain forages, and theoretical studies are carried out to determine the parameters of its grinding working organs.

Keywords: grain, hydrodisperser, grinding, sieve, cavitation, hydraulic shock.

Введение

В Республике Беларусь ежегодно убирается свыше 4 млн т зерна на фуражные цели. Более половины убираемого урожая – повышенной влажности (20–40 %), что определяет огромный объем работ по приведению его в стойкое для хранения состояние. Сушка влажного зерна характеризуется высокими капитальными вложениями, значительными энерго- и трудозатратами.

В последние годы все большее распространение получает технология консервирования плющеного зерна ранних стадий спелости. Это сравнительно новый, перспективный способ подготовки фуража к скармливанию, так как влажное плющеное консервированное зерно хорошо поедается и лучше усваивается животными. Плющение позволяет улучшить вкусовые качества зерна и повысить питательную ценность углеводного и протеинового комплексов. При этом часть сырого протеина и аминокислот преобразуется в более простые соединения, что улучшает использование белковых веществ [1].

Однако, как показали проведенные в РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству» исследования, переваримость консервированного зерна составляет 60–65 %, чего явно недостаточно [1]. С целью повышения переваримости и усвояемости консервированного плющеного зерна необходимо провести исследования по изысканию наиболее рентабельного способа его дальнейшей переработки.

Основная часть

В мировой практике известны методы и технологии обработки зернового сырья с целью повышения его переваримости и усвояемости.

В последние годы, главным образом за рубежом, широко применяются экструдирование, экспандирование и другие виды термомеханической обработки зернофуража [2].

Экструдирование предусматривает два вида воздействия на зерно: механическое и влаготепловое. Подлежащее экструзии сырье доводят до влажности 12–16 % и в некоторых случаях измельчают, а затем подают в экструдер, где под действием высокого давления (2,8–2,9 МПа) и трения зерновая масса разогревается до 120–150 °С. Затем, в результате быстрого перемещения ее из зоны высокого давления в зону атмосферного, происходит «взрыв», в результате чего масса вспучивается и образуется продукт микропористой структуры [3].

Вследствие деструкции целлюлозно-лигнинных образований и желатинизации крахмала значительно улучшается его кормовая ценность [3]. Наряду с положительными качествами экструдирование имеет и проблемные стороны. Тепловая обработка зерна происходит при температуре 120–150 °С, и при таких режимах работы частично разрушаются незаменимые кислоты, некоторые витамины, требуются большие затраты энергии.

Экспандирование – процесс, основанный на гидротермической обработке корма под давлением. Принцип действия экструдеров и экспандеров одинаков – в шнековом рабочем органе продукт разогревается, уплотняется и выпрессовывается. Однако режимы обработки существенно различаются [4].

В экструдерах продукт разогревается только за счет трения при движении по виткам шнека и активного перемешивания под большим давлением. В экспандере обработка проводится при более высокой влажности (до 26 %), разогрев осуществляется не только за счет трения, но и за счет ввода пара, в результате чего обработка зерна происходит в менее жестких условиях, с большей производительностью и с меньшими затратами электроэнергии, чем при экструдировании [4].

В основе термовструдирования лежит кратковременная (5–15 с) высокотемпературная (350–600 °С) обработка зерна в потоке горячего воздуха. При термовструдировании используют высокие температуры и на порядок меньше времени на обработку зерна за счет сверхинтенсивного подвода тепла к зерну в специально организованном режиме теплового удара. В этом случае отпадает необходимость в искусственном увлажнении зерна, а используется только внутренняя естественная влага. Зерна злаков в процессе термовструдирования сами становятся миниатюрными высокоскоростными «котлами варки» под давлением [3].

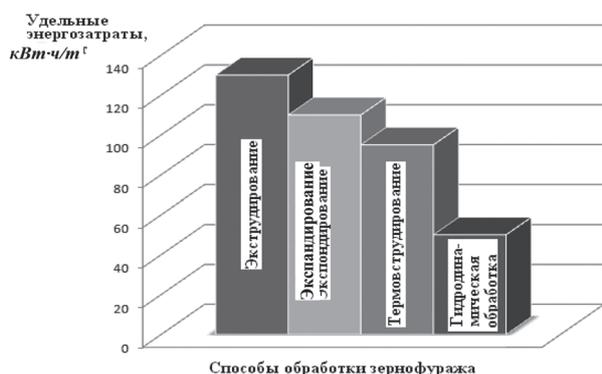


Рисунок 1. – Гистограмма удельных энергозатрат при наиболее распространенных способах обработки зерна

лированных насадках за счет гидродинамических процессов. Под действием энергии гидравлических ударов и ударных волн от схлопнувшихся кавитационных пузырьков осуществляются разрушение зерна и нагрев жидкозерновой массы. Влаготепловая обработка позволяет осуществить также и обеззараживание зернового сырья, инактивацию антипитательных факторов (ингибиторов трипсина, глюкозидов, микотоксинов и т. п.) и преобразование питательных веществ в легкоусвояемые формы [5].

На рисунке 1 приведена гистограмма удельных энергозатрат при наиболее распространенных способах обработки зернофуража [5].

Из гистограммы, изображенной на рисунке 1, видно, что гидродинамический способ обработки зернофуража является не только наиболее щадящим по отношению к витаминам и незаменимым аминокислотам, содержащимся в необработанном сырье, но и наиболее энергоэффективным, так как разрушение зерна осуществляется за счет энергии гидравлических ударов и ударных волн от захлопнувшихся кавитационных пузырьков.

Кавитация и связанные с ней физические явления вызывают ряд эффектов, некоторые из них, например разрушение и диспергирование твердых тел, эмульгирование жидкостей, обязаны своим происхождением ударам при схлопывании пузырьков и микропотокам вблизи них. Импульсы давления, возникающие в кавитационных пузырьках, обуславливают также мгновенные разрывы микроорганизмов и простейших, находящихся на твердых предметах и в водной среде. Пузырьки схлопываются во время полупериодов сжатия, создавая кратковременные импульсы давления с образованием точечных температур, способные разрушать даже весьма прочные материалы. Если кавитационные пузырьки захлопываются вблизи твердого тела, то многократно повторяющиеся удары приводят к разрушению поверхности рядом находящегося твердого тела [6]. Вода, получившая порцию энергии в виде серии возмущений давления, начинает постепенно нагреваться. Если в воду добавить животный или растительный белок, то происходит интенсивная реакция его гидратации – соединение молекул воды с биополимером, прекращение ее самостоятельного существования и превращение в часть этого белка.

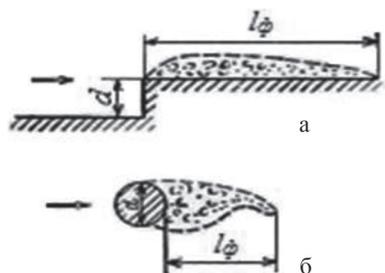
Явление кавитации возникает в жидкости при понижении в ней давления до предела, при котором происходят разрывы потока. Наступление кавитации характеризуется появлением мельчайших парогазовых пузырьков, которые при соответствующем развитии кавитации образуют в потоке кавитационные пульсирующие каверны – факелы кавитации (рисунок 2).

В связи с этим была выдвинута гипотеза о необходимости установки кавитатора, состоящего из двух рабочих органов. Один из них должен увеличивать давление смеси до порогового значения, чтобы образованные ранее пузырьки переросли в пульсирующие каверны и при последующем резком сбросе давления начали захлопываться, создавая кратковременные импульсы давления, способные разрушить частицы зернофуража, находящегося рядом.

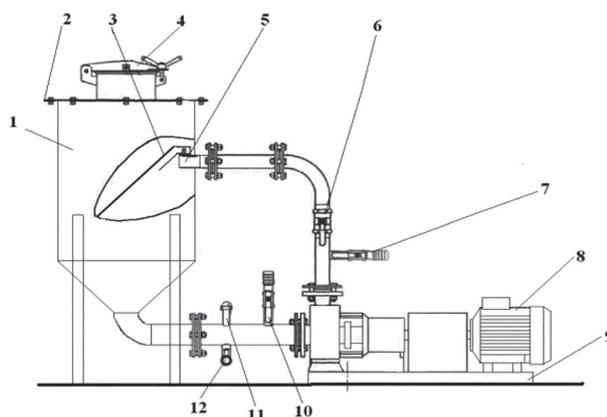
Второй рабочий орган должен разделять поток обрабатываемой смеси на множество мелких струй, что, в свою очередь, позволит увеличить количество парогазовых пузырьков.

Термовстреливание зернобобовых позволяет значительно нейтрализовать ингибиторы трипсина и химотрипсина. Вместе с тем, как показала практика, организовать подвод тепла к зерну в летящем потоке достаточно сложно, а из-за высоких температур происходит частичное разрушение незаменимых аминокислот и витаминов. Поэтому такой способ пока не получил распространения [3, 4].

Представляет интерес малоизученная гидротермическая механизированная обработка зерна, которая осуществляется с помощью различных установок. В таких установках обработка зерна осуществляется в водной среде без доступа кислорода в специально спроти-



а – при обтекании выступа;
 б – при обтекании цилиндра;
 в – при обтекании отверстий
 Рисунок 2. – Факелы кавитации



1 – емкость; 2 – крышка; 3 – решетю; 4 – люк;
 5 – ускоряющий патрубок; 6, 7 – краны; 8 – насос;
 9 – рама; 10, 12 – патрубки; 11 – термодатчик
 Рисунок 3. – Схема экспериментальной установки гидродиспергатора

В результате поисковых исследований в качестве рабочих органов гидродинамической установки, создающих эффект кавитации, были выбраны решетю и конический патрубок (рисунок 3).

Конический патрубок предназначен для увеличения давления жидкости до порогового значения, после которого, попадая в область атмосферного давления (в емкость аппарата), парогазовые пузырьки начинают захлопываться, разрушая при этом зерновые компоненты смеси.

Функция решета заключается в создании дополнительных течений в сплошном потоке жидкости (усиленного турбулентного течения) и частичном механическом разрушении измельчаемых частиц. Струя кормосмеси выходит из ускоряющего патрубка и ударяется о решетю, в результате чего возникает сила, которая может разрушить частицы зернофуража. Однако из-за сил трения, возникающих при движении струи внутри среды, движущейся со значительно меньшей скоростью, эта сила будет со временем уменьшаться. Поэтому для наиболее эффективной работы аппарата необходимо найти расстояние, на котором требуется установить решетю.

Струя кормосмеси воздействует на фронтальную поверхность решета с силой, равной

$$R = \rho Q_v v_4 \sin \phi, \quad (1)$$

где ϕ – угол наклона решета, град.; f – плотность кормосмеси, кг/м³; Q_v – подача, м³/с; v_4 – скорость струи кормосмеси в момент соударения с решетом.

Так как сила действия равна по модулю и противоположна по направлению силе противодействия, то и решетю воздействует на кормосмесь с такой же силой.

Сила, необходимая для разрушения зерна, будет равна:

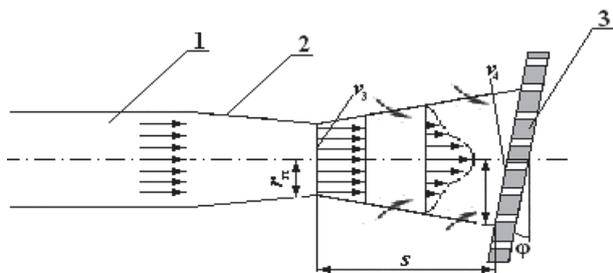
$$R_3 = \frac{\sigma}{k} S_{ст}, \quad (2)$$

где σ – разрушающее контактное напряжение, для зернофуража $\sigma = 30 \cdot 10^6$ Па; k – безразмерный коэффициент, учитывающий влажность зернофуража и степень его обработки; $S_{ст}$ – площадь струи, м², определяется по формуле:

$$S_{ст} = \pi r_{ст}^2, \quad (3)$$

где $r_{ст}$ – радиус струи кормосмеси, м.

Струя кормосмеси, вытекающая из конического патрубка, движется в общей массе кормосмеси, находящейся в бункере гидродиспергатора, постепенно расширяясь (рисунок 4). Хотя струя кормосмеси имеет ярко выраженную границу, через нее в струю вовлекаются новые частицы, масса струи растет при уменьшении ее скорости, а следовательно, и ударной силы.



1 – трубопровод; 2 – ускоряющий патрубок; 3 – решетка
Рисунок 4. – Схема движения струи кормосмеси

Радиус струи на расстоянии s от начального сечения [7] равен:

$$r_{ст} = \left(3,4 \frac{as}{r_{п}} + 1 \right) r_{п}, \quad (4)$$

где $r_{п}$ – радиус ускоряющего патрубка, м; a – константа, принимаемая обычно 0,07...0,08, принимаем $a = 0,07$; s – расстояние от ускоряющего патрубка до решетки.

Тогда сила, необходимая для разрушения зерна, будет равна:

$$R_3 = \frac{\sigma \pi r_{п}^2}{k} \left(3,4 \frac{as}{r_{п}} + 1 \right)^2. \quad (5)$$

Так как для разрушения зернофуража необходимо, чтобы R_3 была равна R , то приравняем правые части уравнений (1) и (5), подставим значение константы a и упростим полученное выражение:

$$\frac{\sigma \pi r_{п}^2}{k} \left(0,2 \frac{s}{r_{п}} + 1 \right)^2 = \rho Q v_4 \sin \varphi, \quad (6)$$

где φ – угол наклона решетки, град.

Так как струя кормосмеси, выходя из ускоряющего патрубка, движется внутри кормосмеси, постепенно замедляясь, то движение ее подчиняется законам кинематики для равнозамедленного движения. Кроме того, согласно теореме о потере кинетической энергии на удар, «если в какую-либо вязкую жидкую среду, движущуюся со своей скоростью, врезается другая жидкость с большей скоростью, то потеря кинетической энергии жидкости равна кинетической энергии потерянных скоростей» [7].

При одинаковых геометрических высотах и одинаковой плотности ρ смешивающихся жидкостей справедливо равенство:

$$P_4 - P_3 = \rho v_4 (v_3 - v_4), \quad (7)$$

где P_3 – давление транспортируемой массы на выходе из ускоряющего патрубка, Па; ρ – плотность кормосмеси, кг/м³; v_3 – скорость транспортируемой массы на выходе из ускоряющего патрубка, м/с; v_4 – скорость транспортируемой массы в момент столкновения с решеткой, м/с; P_4 – давление, обеспечивающее разрушение зернофуража, Па, определяется по формуле:

$$P_4 = \frac{\sigma}{k}, \quad (8)$$

где σ – разрушающее контактное напряжение, для зернофуража $\sigma = 30 \cdot 10^6$ Па; k – безразмерный коэффициент, учитывающий влажность зернофуража и степень его обработки.

В уравнении (7) неизвестной величиной является v_4 , поэтому выразим ее из уравнения (6) и, подставив в (7), упростим:

$$\frac{\sigma}{k} - P_3 = \frac{\sigma \pi r_{п}^2 \left(0,2 \frac{s}{r_{п}} + 1 \right)^2}{k Q v_4 \sin \varphi} \left(v_3 - \frac{\sigma \pi r_{п}^2 \left(0,2 \frac{s}{r_{п}} + 1 \right)^2}{k \rho Q v_4 \sin \varphi} \right). \quad (9)$$

В этом выражении искомой величиной является s – расстояние от ускоряющего патрубка до решетки. Из уравнения (9) видно, что значение расстояния s будет зависеть от технических характеристик выбранного насоса, а также от физико-механических свойств кормосмеси.

Заключение

Таким образом, гидродинамический способ обработки зернофуража является не только наиболее щадящим по отношению к витаминам и незаменимым аминокислотам, содержащимся в необработанном сырье, но и наиболее энергоэффективным, так как разрушение зерна осуществляется за счет энергии гидравлических ударов и ударных волн от схлопнувшихся кавитационных пузырьков в гидродиспергаторе, одним из рабочих органов которого является решето. Функция решета заключается в создании дополнительных течений в сплошном потоке жидкости (усиленного турбулентного течения) и в частичном механическом разрушении измельчаемых частиц. Струя кормосмеси ударяется о решето, в результате чего возникает сила, которая может разрушить частицы зернофуража. Однако из-за сил трения, возникающих при движении струи внутри среды, движущейся со значительно меньшей скоростью, эта сила будет со временем уменьшаться. Поэтому в статье была получена зависимость для определения расстояния, на котором требуется установить решето для наиболее эффективной работы аппарата. Из полученного уравнения видно, что значение расстояния s будет зависеть от технических характеристик выбранного насоса, а также от физико-механических свойств кормосмеси.

Литература

1. Энергетическая эффективность технологии измельчения влажного зерна / А. В. Китун [и др.] // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. ст. – Гродно, 2009. – Ч. 1. – С. 42–45.
2. Машины и аппараты для пищевых производств: в 2 кн. Кн. 2 / С. Т. Антипов [и др.]. – М.: Высш. шк., 2001. – 703 с.
3. Алешкин, В. Р. Механизация животноводства / В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.
4. Механизация технологических процессов / Н. Н. Белянчиков [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 400 с.
5. Рекомендации по заготовке и использованию плющеного зерна повышенной влажности / сост.: П. И. Бурдук [и др.]. – Жодино, 2007. – 24 с.
6. Идельчик, Е. И. Справочник по гидросопротивлениям / Е. И. Идельчик. – М.: Наука, 1992. – 354 с.
7. Башта, Т. М. Машиностроительная гидравлика / Т. М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.

УДК 636.2.085:678.057.3

Поступил в редакцию 01.07.2018
Received 01.07.2018

**В. Ф. Радчиков¹, В. И. Передня², А. И. Пунько³, А. Н. Кот¹, В. П. Цай¹,
Г. В. Бесараб¹, О. Ф. Ганущенко⁴, С. Л. Шинкарева¹**

¹РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству»
г. Жодино, Минская обл., Республика Беларусь
e-mail: labkrs@mail.ru

²РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: belagrotech@tut.by

³УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: punko@tut.by

⁴УО «Витебская государственная академия ветеринарной медицины»
г. Витебск, Республика Беларусь
e-mail: rio_vsavm@tut.by

ЭКСТРУДИРОВАНИЕ – ВАЖНЫЙ ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРМОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГОВЯДИНЫ

Использование в рационах молодняка крупного рогатого скота 5 % экструдированного пищевого концентрата способствует увеличению среднесуточных приростов бычков на 7 % и снижению затрат кормов на получение прироста на 6 %, увеличению прибыли на 11 %.

Ключевые слова: бычки, корма, экструдированный пищевой концентрат, прирост, затраты кормов, пеллеваримость.