
1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОРМОВ

Корма – это специально приготовленные физиологически приемлемые продукты, содержащие в доступном виде необходимые животному питательные вещества в усвояемой форме и не оказывающие вредного действия на здоровье животных и качество получаемой от них продукции.

В кормлении животных используют широкий ассортимент кормовых средств, различающихся как по источнику получения, так и по химическому составу и питательности.

По источникам получения корма разделяют на: растительные, животные, минеральные, микробиологического и химического синтеза, комбикорма, пищевые отходы.

В практическом животноводстве главные кормовые средства объединяют в следующие группы: сочные – все зелёные, силосованные корма, корнеклубнеплоды, бахчевые; грубые – солома, сено, веточные корма; концентраты – зерновые, жмыхи, шроты, мельничные отходы, комбикорма (однородные смеси кормовых средств, составленные по научно-обоснованным рецептам, предназначенные для определённого вида и производственной группы животных и обеспечивающие наиболее полное и эффективное использование содержащихся в них питательных веществ); животные корма – молоко и продукты его переработки, рыбная и мясокостная мука, дрожжи; минеральные корма – соль, мел, фосфаты, соли микроэлементов, сапропель; витаминные; премиксы – смесь измельчённых наполнителей (кукуруза, отруби, пшеничная мука и др.) и биологически активных веществ (микроэлементов, антибиотиков, витаминов, антиокислителей, гормонов, лекарственных препаратов), используемая для обогащения комбикормов (1...2% премиксы на 98...99% наполнителя); белково-витаминно-минеральные добавки (БВМД) – смесь белковых кормов, обогащённая витаминами, минеральными веществами и другими добавками (в комбикорм БВМД вводят в количестве 25...35% от массы).

Основную классификацию можно дополнить группой: «водянистые корма» – свекловичный жом, барда, пивная дробина; монокорм – измельчённые злаковые в период молочно-восковой спелости, включающие как зерно, так и стебли; многокомпонентные кормовые смеси – измельчённые до необходимой крупности смесь различных видов кормов; полнорационные корма – корма, сбалансированные по всем питательным веществам и обогащённые витаминами, микроэлемента-

ми, антибиотиками, биостимуляторами и другими лечебно-профилактическими препаратами.

Использование полнорационных кормов повышает продуктивность животных на 25...30%, при этом сокращаются сроки откорма и на 15...20% уменьшается расход кормов на единицу продукции.

2.2. АГРОЗООТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ

Использование кормов в естественном виде неэффективно, одни корма (пищевые отходы) без обработки опасны, так как в них могут содержаться посторонние примеси и болезнетворные микробы, а при использовании других (рассыпное сено, солома) возникают трудности при раздаче животным с использованием технических средств (кормораздатчиков).

В связи с этим используют различные способы приготовления кормов, из которых можно выделить следующие: механический – измельчение, смешивание, гранулирование и др.; влажно-тепловая обработка – варка, запаривание, стерилизация пищевых отходов; химический, чаще термохимический – обработка соломы растворами кальцецирированной соды, щёлочи или аммиаком; биологический – дрожжевание; комбинированный – последовательно используют различные способы обработки кормов (см. прил. А).

Для максимального использования питательных свойств кормов и кормовых смесей к технологии их приготовления предъявляют следующие требования.

Растительные корма надо убирать в момент наибольшей урожайности и питательной ценности.

Мыть и измельчать корнеплоды необходимо непосредственно перед приготовлением кормовых смесей во избежание их окисления воздухом и порчи. При этом остаточная загрязнённость после мойки не должна превышать 2...3% от массы чистых корней.

Для свиней сочные корма и силос необходимо измельчать до состояния пасты или мелкой резки. В измельчённой массе 70...75% частиц должны быть размером до 10 мм, а частиц крупнее 10 мм не должно быть более 30%, причём размер частиц не должен превышать 20 мм.

Для крупного рогатого скота рекомендуемый размер частиц корнеплодов 10...15 мм. Однако для лучшего смачивания грубых кормов клеточным соком корнеплодов и лучшего перемешивания их можно измельчать и более мелко.

Картофель надо мыть, запаривать и мять до состояния пюре. Допускается измельчение запаренного картофеля до частиц размером 10 мм в количестве 70% по массе. Максимальный размер частиц не

должен превышать 20 мм. Температура запаренного картофеля перед подачей на смешивание не должна быть больше 60 °С. Наличие незапаренных клубней в картофеле нежелательно.

Грубые корма для крупного рогатого скота рекомендуется измельчать до частиц размером 20...40 мм (80% по массе). Допускаются частицы (20% по массе) длиной до 50 мм. При этом грубые корма должны быть расщеплены вдоль волокон и перемяты.

Зерновые корма после дробления должны иметь средневзвешенный размер частиц (модуль помола) для свиней 0,2...1,0 мм (тонкий помол), а для крупного рогатого скота 1,0...1,8 мм (средний помол).

После обработки отдельные виды кормов дозируют и смешивают. Соотношение компонентов в кормовых смесях зависит от вида и групп животных и наличия в хозяйстве кормовых компонентов. При дозированной подаче компонентов в смеситель отклонение от заданной нормы для концентрированных кормов должно быть не более $\pm 5\%$, для сочных кормов $\pm 15\%$, грубых кормов $\pm 10\%$, для добавок $\pm 1\%$. Показатель степени однородности кормовой смеси не менее 90%.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение кормов.
2. Назовите основные группы кормовых средств, применяемых в животноводстве.
3. Влияет ли применение полнорационных кормов на продуктивность животных и как?
4. Какие способы приготовления кормов вы знаете?
5. Какие требования предъявляются к технологии приготовления кормов?

2.3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ, ТЕРМИНОЛОГИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Измельчением называется процесс разделения механическим путём твёрдого тела на части, т.е. путём приложения внешних сил, превосходящих силы молекулярного сцепления.

В результате измельчения образуется множество мелких частиц с сильно развитой поверхностью, что способствует ускорению процессов пищеварения и повышению усвояемости питательных веществ. Следовательно, измельчение можно охарактеризовать как процесс производства новых поверхностей частиц корма.

Количественной мерой развитости поверхности частиц (дисперсность) служит показатель удельной площади поверхности, под которой понимается суммарная площадь поверхности всех частиц, заклю-

чѐнных в единице массы или объѐма. В связи с этим различают объѐмную площадь поверхности $S_{\text{уд.об}}$ (м^{-1}) и массовую $S_{\text{уд.м}}$ ($\text{м}^2/\text{кг}$):

$$S_{\text{уд. об}} = 6/d; \quad S_{\text{уд.м}} = 6/\rho d,$$

где d – средний размер частиц, м; ρ – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Абсолютные размеры или крупность частиц корма обусловлены зоотехническими требованиями и используются при оценке качества продуктов измельчения. Для энергетической оценки процессов измельчения требуется ещё иметь представление о глубине процесса диспергирования, т.е. о степени измельчения.

В общем случае энергоѐмкость процесса измельчения зависит от приращения удельной площади поверхности ΔS материала, $\Delta S = S_{\text{к}} - S_{\text{н}}$.

С уменьшением размеров частиц удельная площадь поверхности частиц возрастает, поэтому степень измельчения λ равна отношению удельной площади поверхности частиц конечного продукта $S_{\text{к}}$ к удельной площади поверхности исходного материала $S_{\text{н}}$, $\lambda = S_{\text{к}}/S_{\text{н}}$.

Однако на практике определение площади поверхности сыпучих материалов затруднено, поэтому пользуются отношениями размеров.

Для материалов сферической формы степенью измельчения принято называть отношение среднего размера D кусков исходного материала к среднему размеру d частиц продукта измельчения $\lambda = D/d$, а вытянутой формы (стебельные корма) – отношение длины L стеблей к длине l частиц $\lambda = L/l$.

Учитывая разнообразие и сложность формы зѐрен, их размеры наиболее удобно характеризовать величиной эквивалентного диаметра d_3 . Эквивалентным диаметром зерна называется диаметр шара, объѐм которого равен действительному объѐму зерна V_3 , $D_3 = \sqrt[3]{6V_3/\pi} \approx 1,24\sqrt[3]{V_3}$.

Для мясорыбных кормов, измельчаемых на фарш, степень измельчения определяют отношением масс частиц начального и конечного продукта.

При многократном процессе конечная степень измельчения будет равна произведению частных степеней, характеризующих отдельные ступени процесса.

Поскольку размер измельчѐнных частиц величина случайная, то их размеры оценивают по содержанию в измельчѐнном продукте классов (фракций) определѐнных размеров, по гранулометрическому составу. Для определения гранулометрического состава наибольшее рас-

пространение нашёл метод ситового анализа – рассев навески сыпучего материала на фракции через набор штампованных сит с круглыми отверстиями диаметром 5, 3, 2 и 1 мм при грубом и среднем измельчении или диаметром 4, 3, 2, 1 и 0,2 мм при тонком измельчении. Верхние сита с отверстиями диаметром 5 и 4 мм являются контрольными для учёта целых зёрен, наличие которых в дерти не допускается. Остатки дерти на этих ситах присоединяют к остаткам на сите с отверстиями диаметром 3 мм.

Как правило, массу исходной навески кормов принимают равной 100 г, и если после отсева сумма остатков ввиду потерь оказалась меньше 97 г, то ситовой анализ бракуют.

За характерный размер частиц дерти принимают средневзвешенный диаметр частиц дерти $d_{\text{ср}}$, т.е. размер с учётом массы частиц той или иной фракции, и определяют по формуле математической статистики:

$$d_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i p_i}{100} = \frac{(d_1 p_1 + d_2 p_2 + \dots + d_n p_n)}{100}, \quad (2.1)$$

где d_i – средний размер отверстий двух смежных сит, мм; $d_1 = (d_0 + d_1)/2$, $d_2 = (d_1 + d_2)/2$ и т.д.; p_i – весовой выход класса,

$$\sum_{i=1}^n p_i = 100\%.$$

На производстве определяют модель помола M , мм, по одной из следующих формул:

$$M = \frac{(0,5 p_0 + 1,5 p_1 + 2,5 p_2 + 3,5 p_3)}{100};$$

$$M = \frac{(0,1 p_0 + 0,6 p_{0,2} + 1,5 p_1 + 2,5 p_2 + 3,5 p_3)}{100}, \quad (2.2)$$

где p_0 , $p_{0,2}$, p_1 , p_2 , p_3 – остатки соответственно на поддоне и ситах с размерами отверстий диаметром 0,2; 1; 2; 3 мм, соответственно, г.

Различают три степени размола зерна: при $M = 0,2 \dots 1,0$ мм – мелкий; $M = 1,0 \dots 1,8$ мм – средний; $M = 1,8 \dots 2,6$ мм – крупный.

2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭНЕРГИИ НА ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ

При разрушении кусков материала внешние силы, прикладываемые со стороны рабочих органов измельчителей, производят работу. Реальное твёрдое тело характеризуется наличием пространственной

системы микро- и макродефектов, случайно распределённых в толще и частично выходящих на наружную поверхность. Сопротивляемость тела разрушению (прочность) из-за наличия в них указанных дефектов снижается в 100 – 1000 раз против идеального твёрдого тела с ненарушенной структурой.

При этом обнажаются новые поверхности по тем сечениям, в которых напряжения от внешних сил превзошли предел прочности. При циклических нагружениях с каждым последующим циклом количество дефектов в теле увеличивается, а его прочность падает. Усталостное понижение прочности в процессе измельчения может быть значительно усилено применением поверхностно-активных веществ, которые проникая в микротрещины, экранируют молекулярные силы, стремящиеся их сомкнуть, и резко снижают прочность (эффект Ребиндера).

В основе динамического процесса измельчения лежит механизм разрушения сжатием, и процесс протекает по схеме хрупкого разрушения, т.е. без заметного развития пластических деформаций.

Работа, затрачиваемая на разрушение, частично расходуется на деформацию кусков и рассеивается в окружающее пространство в виде тепла и звука, а частично идёт на образование новых поверхностей.

Для определения работы измельчения существует несколько теорий и аналитических выражений. Но в практике измельчения кормов нашли следующие: объёмная (теория Кирпичева–Кика) и поверхностная (теория Риттингера).

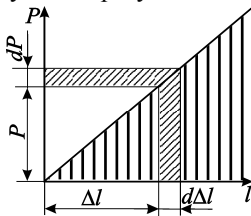
Согласно объёмной теории работа, затраченная на измельчение A_V , прямо пропорциональна объёму ΔV деформированной части тела:

$$A_V = k\Delta V, \quad (2.3)$$

где k – коэффициент пропорциональности, Дж/м³.

Определим работу деформации сжатия куска на основании закона Гука, предполагая, что предел прочности совпадает с пределом упругости.

На рисунке 2.1 показан результат работы силы P при деформации куска. В результате деформации на величину Δl совершается работа A



(вертикальная штриховка). Если какому-либо значению силы P соответствует деформация Δl , то при увеличении нагрузки на dP деформация получит элементарное приращение $d\Delta l$, а совершённая элементарная работа $dA = Pd\Delta l$. Формула закона Гука имеет вид

Рис. 2.1. Работа деформации куска

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF}, \quad (2.4)$$

где P – сила, Н; l – длина напряжённого участка, м; E – модуль упругости материала куска, Па; F – площадь поперечного сечения куска, м².

Дифференцируя формулу Гука, получим $d\Delta l = ldP/EF$. Тогда работа запишется:

$$A = \int_0^P \frac{Pl}{EF} dP = \frac{P^2 l}{2EP} = \frac{\sigma^2 Fl}{2E} = \frac{\sigma^2 V}{2E} = kV, \quad (2.5)$$

где $\sigma = P/F$ – разрушающее напряжение, Па; $V = Fl$ – деформированный объём тела, м³; $k = \sigma^2/2E$ – коэффициент пропорциональности, Дж/м³.

Выразим работу измельчения через степень измельчения λ и допустим, что измельчается кусок кубической формы с длиной ребра L до частиц с длиной ребра l за r распадов на основании закона деформации В. Л. Кирпичева, который утверждает, что частицы материала при измельчении распадаются на геометрически подобные себе. Допустим, что за один распад образуется m частиц. Тогда за r распадов образуется общее число частиц $m^r = L^3/l^3$. Логарифмируя это выражение, получим

$$r = \frac{3 \lg(L/l)}{\lg m} = \frac{\lg \lambda^3}{\lg m}, \quad (2.6)$$

где $\lambda = L/l$ – степень измельчения.

Если k_1 – удельный расход энергии при однократном распаде, т.е. расход энергии, отнесённый к единице массы или объёма измельчаемого материала, то при многократном распаде удельный расход энергии $A_{удV}$ запишется:

$$A_{удV} = k_1 r = \frac{k_1 \lg \lambda^3}{\lg m} = C_V \lg \lambda^3, \quad (2.7)$$

где $C_V = k_1/\lg m$ – постоянный коэффициент, определяемый опытным путём, Дж/м³, Дж/кг.

Согласно поверхностной теории работа, необходимая для измельчения тела, прямо пропорциональна вновь образовавшейся поверхности.

Положим, что измельчению подвергаются куски кубической формы с длиной ребра L до кубиков с длиной ребра l . Приращение удельной площади поверхности при этом $\Delta S = S_k - S_n = 6(1/l - 1/L)$.

Из определения поверхностной теории следует

$$A_{удS} = k_S \Delta S = 6k_S \left(\frac{1}{l} - \frac{1}{L} \right), \quad (2.8)$$

где k_S – коэффициент пропорциональности, Дж/м².

Если умножить и разделить правую часть на L , получим

$$A_{удS} = \frac{6k_S}{L} \left(\frac{L}{l} - \frac{L}{L} \right) = C_S (\lambda - 1), \quad (2.9)$$

где $C_S = 6k_S/L$ – постоянный коэффициент пропорциональности, определяемый опытным путём, который зависит от физико-механических свойств материала и условий измельчения, Дж/м³, Дж/кг.

Аналитические расчёты затрат энергии по выражениям объёмной и поверхностной теорий дают лишь приближённые значения к опытным данным, так как формула объёмной теории основана на процессе, происходящем до разрушения материала (в области упругих деформаций), а формула поверхностной теории – на процессе образования новых поверхностей, обнажающихся после разрушения тела (в области пластических деформаций). В действительности же в начале процесса разрушения в материале возникают упругие деформации, затем пластические, и только тогда начинается разделение материала на части.

Опыты показывают, что при относительно крупном измельчении удельная поверхность сравнительно невелика и лучшие результаты даёт объёмная теория, а при тонком измельчении удельная поверхность значительно возрастает, и более справедливой оказывается поверхностная теория.

Ребиндер П. А. создал обобщённую теорию измельчения, учитывающую положение обеих теорий, согласно которой

$$A_{изм} = A_V + A_S = k\Delta V + \alpha\Delta S, \quad (2.10)$$

где $A_{изм}$ – работа, необходимая для измельчения, Дж; A_V – работа деформаций в объёме куска, Дж; k , α – коэффициенты пропорциональности; ΔV – деформированная часть объёма куска, м³; ΔS – приращение поверхности материала, м².

Однако уравнение Ребиндера даёт лишь качественное описание процесса измельчения и не позволяет выполнить количественные расчёты, так как значения всех величин, входящих в него, не поддаются численному определению. В связи с этим С. В. Мельников разработал рабочую формулу для расчёта затрат энергии на измельчение кормов, которая имеет вид

$$A_{\text{изм}} = C_{\text{пр}} \left[C_V \lg \lambda^3 + C_S (\lambda - 1) \right], \quad (2.11)$$

где $A_{\text{изм}}$ – удельная работа измельчения кормов, Дж/кг; $C_{\text{пр}}$ – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние неучтённых факторов (свойства материала, способ измельчения, конструктивные особенности измельчителя); C_V – коэффициент, определяющий работу упругих деформаций, отнесённую к единице массы, Дж/кг; C_S – коэффициент, определяющий работу, затрачиваемую на образование новых поверхностей при измельчении и отнесённую к единице массы материала, Дж/кг.

По формуле С. В. Мельникова можно рассчитать энергозатраты на измельчение не только зерновых, но и стебельных кормов, измельчаемых молотковыми и ножевыми рабочими органами. Опытные значения коэффициентов для некоторых видов кормов приведены в табл. 2.1.

Значения коэффициентов в табл. 2.1 приведены при относительной влажности кормов 14%. Затраты энергии на измельчение зерна зависят от влажности, поэтому значения $A_{\text{изм}}$, полученные по формуле

2.1. Значения коэффициентов в формуле С. В. Мельникова

Корм	$C_{\text{пр}}$, кДж/кг	C_V , кДж/кг	C_S , кДж/кг
Ячмень	0,9...1,5	8,5	7,5
Овёс (без плёнки)	3,5...6,5	2,34	1,96
Рожь	1,05...1,75	8,4	6,40
Пшеница	–	4,6	8,15
Горох	–	10,7	3,66
Сено:			
люцерновое	0,7...0,9	0,23	2,3
клеверное	0,7...0,9	0,11	1,1
Солома:			
ржаная	0,7...0,9	0,12	1,2
пшеничная	0,7...0,9	0,12	1,3
Трава свежая:			
люцерна	0,7...0,9	0,2	2,0
клевер	0,7...0,9	0,1	1,1
разнотравье	0,7...0,9	0,19	1,9

С. В. Мельникова, необходимо умножить на поправочный коэффициент $C_w = 1 + 1,07(B - 14)$, где B – относительная влажность зерна, %.

Последнюю формулу можно упростить, представив её в виде

$$A_{\text{изм}} = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1), \quad (2.12)$$

где C_1, C_2 – коэффициенты, определяемые из опытных данных по методу наименьших квадратов (для ячменя $C_1 = 10 \dots 13$ кДж/кг и $C_2 = 6 \dots 9$ кДж/кг, а для грубых стебельных кормов $C_1 = 7,5 \dots 8,5$ кДж/кг и $C_2 = 0,6 \dots 0,9$ кДж/кг).

Эта формула более универсальна, так как позволяет оценить любой процесс измельчения (дробление, истирание, резание) с позиций современной теории измельчения. Такой подход имеет особое значение для исследования рабочего процесса универсальных дробилок, оборудованных режущим аппаратом и молотковым барабаном, и других измельчителей, которые производят двукратное воздействие разных рабочих органов на материал.

