

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОМБИКОРМОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ДРОБИЛКИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Назначение, область применения и классификация

Процесс измельчения исходного сырья или полуфабрикатов с целью получения готовой продукции требуемого качества широко применяется в пищевой и зерноперерабатывающей промышленности при производстве муки, крупы, пищевых концентратов, кофе, какао, комбикормов, минеральных добавок, высокобелковых добавок животного и растительного происхождения и т. д.

Практически все способы механического нагружения материалов с целью их разрушения (удар, сжатие, истирание, сдвиг, резание) нашли применение в тех или иных конструкциях измельчающих машин. Выбор способа механического воздействия на продукт зависит от его свойств и технологических требований к готовому продукту. Так, Рейс подразделяет все материалы на десять групп в зависимости от способа нагружения (табл. 1).

Из этой таблицы видно, что наиболее распространенными для твердых продуктов, к которым можно отнести и зерно, являются два способа нагружения: удар и сжатие.

Считают, что наиболее эффективное разрушение основных твердых материалов происходит при ударном нагружении.

Дробилки ударного действия нашли широкое применение в комбикормовой промышленности. Они являются основным оборудованием для измельчения зернового, гранулированного, кускового сырья. Процесс измельчения

сырья — одна из важнейших технологических операций на комбикормовых предприятиях. Степень измельчения в значительной мере определяет качество комбикормов и оказывает существенное влияние на производительность предприятий, ритмичность работы и затраты на производство готовой продукции.

Благодаря измельчению сырья существенно увеличивается общая поверхность частиц корма, что способствует лучшему пищеварительному процессу в организме сельскохозяйственных животных.

Кроме этого, у зерновых и зернобобовых культур разрушается оболочка, которая препятствует воздействию пищеварительных ферментов на остальные части зерна. Поэтому усвояемость комбикормов находится в прямой зависимости от крупности частиц компонентов, входящих в его состав. Так, например, переваримость целых зерен ячменя у свиней составляет 67%, а измельченных — 80–85%.

При любой крупности размола качество комбикорма считается тем выше, чем меньше в нем мучнистого пылевидного продукта (проход через сито с отверстиями размером 0,2 x 0,2 мм). Тонкоизмельченный продукт теряется при погрузке, разгрузке, транспортировании и при раздаче корма, он трудно смачивается водой и слюной животных и хуже усваивается их организмом.

При выборе крупности помола следует учитывать вид и возрастную группу животных, для которых эти корма предназначены. Так, например, по данным ученых, оптимальный размер частиц измельченного зерна следующий: для поросят-сосунов — 0,5–0,8 мм, для отъемышей — 0,9–1,1,

Таблица 1. Способы механического воздействия в зависимости от свойств измельчаемых материалов (по Рейсу)

Свойства материала	Способ нагружения					
	сжатие	удар	истирание	отраженный удар	сдвиг	резание
Твердый						
скалывающийся	X	X	—	X	—	—
хрупкий	X	X	—	X	—	—
вязкий	X	X	—	—	—	—
Средней твердости	X	X	—	X	0	—
Упругий, мягкий	—	—	X	—	X	X
Волокнистый	0	—	X	X	X	X
Чувствительный к теплоте	—	0	—	0	X	X
Влажно-пластичный	0	—	X	—	X	X
Мягкий:						
хрупкий	X	X	X	X	X	X
вязкий	X	X	0	0	X	X

Примечание. Применение способа нагружения: X — применяемый, 0 — ограниченно применяемый, «—» — не применяется.

для других групп — 1,0–1,4 мм. Скармливание зерна крупного помола свиньям приводит к снижению его усвоемости в сравнении с мелким на 15–20%. Применение в кормлении свиней тонкого мучнистого помола зерна недопустимо, так как корм в этом случае сильно распыляется, а при смешивании с водой образует клеевую, плохо поедаемую массу. Такой корм приводит к кератинизации эпителия, эрозии и язвам желудка. В комбикормах для свиней содержание пылеобразных частиц не должно превышать 20%.

Исследования показали, что лучший прирост живой массы у откармливаемого молодняка крупного рогатого скота был получен при использовании комбикормов средней крупности (средняя величина частиц 0,9–1,4 мм).

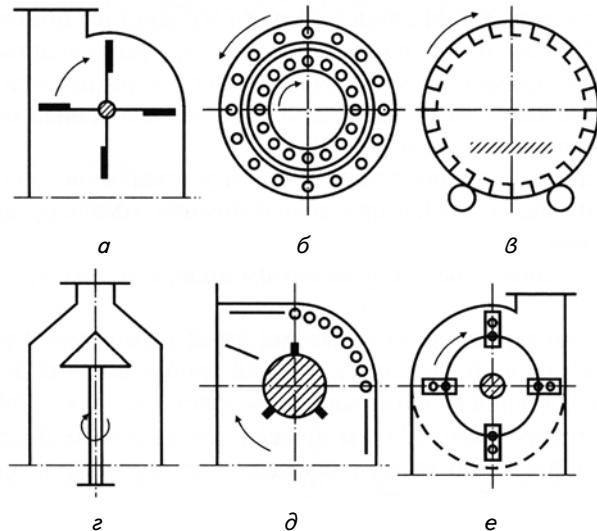
Шроты, жмыхи следует также использовать в размолотом виде, с той же крупностью, что и зерно.

В технических требованиях стандартов на комбикорма даны ограничения по крупности, в основном по наличию крупной фракции в готовой продукции. Так, например, в рассыпном комбикорме для поросят-отъемышей в возрасте от двух до четырех месяцев остаток на сите с отверстиями $\varnothing 3$ мм должен составлять не более 5%; для молодняка в возрасте от четырех до восьми месяцев — не более 10%; для беконного и мясного откорма свиней — не более 10%; остаток на сите с отверстиями $\varnothing 5$ мм в первых двух случаях не допускается, а в последнем — не более 1%.

В некоторых рецептах рекомендуются рассыпные комбикорма с частицами более крупного размера. Так, например, технические требования к полнорационным комбикормам для кур-несушек предусматривают следующую крупность: остаток на сите с отверстиями $\varnothing 3$ мм — не менее 3,5%; остаток на сите с отверстиями $\varnothing 5$ мм — не более 5%. Такое измельчение сырья комбикормов позволяет улучшить процесс кормления и уменьшить потери.

Измельчение компонентов до одинакового размера частиц всех видов сырья способствует лучшему их смешиванию и препятствует самосортированию частиц в готовой продукции при транспортировании. Некоторые виды компонентов, например сырье минерального происхождения, биологически активные вещества, соли микроэлементов, вводят в комбикорма в малом количестве. Для равномерного распределения их в смеси необходимо тонкое измельчение: чем в меньшем количестве вводят компонент в продукцию, тем более мелкими должны быть его частицы. Так, количество поваренной соли в рецептах комбикормов должно быть не более 1%, ее нужно измельчать до крупности частиц менее 0,8 мм.

Существует большое количество различных вариантов классификации машин ударного действия, которые основаны на конструктивных признаках машин, их технологической эффективности, возможной степени измельчения материала и необходимой тонкости продукта. Так, Б.В. Клужанцев и А.И. Косарев, классифицируя измельчающие машины ударного действия по конструкции и типу рабочих органов, предлагают шесть основных групп (рис. 1):



а — крестовые;
б — стержневые (дезинтеграторы, дисмембраторы);
в — барабанные (циклические);
г — тарельчатые (центробежные);
д — роторные; е — молотковые.

Рис. 1. Схема измельчающих машин ударного действия (по Б.Л. Клужанцеву и А.И. Косареву)

Основы теории процесса разрушения зерновых, гранулированных и кусковых видов сырья

Проблемам разрушения материалов посвящены многие отечественные и зарубежные исследования, однако до настоящего времени еще не разработана общая теория, позволяющая достаточно точно объяснить сложные процессы измельчения.

Наиболее достоверные результаты дает гипотеза, разработанная академиком П.А. Ребиндером, которая при некотором уточнении позволяет правильно подойти к анализу энергозатрат на измельчение того или иного продукта. В обобщенном законе Ребиндера вся энергия, идущая на измельчение, расходуется на деформацию тела до момента начала разрушения и на образование новых поверхностей при разрушении. В результате общий расход энергии равен:

$$\mathcal{E} = k_V V + k_S \Delta S, \quad (1)$$

где k_V и k_S — коэффициенты, характеризующие процесс; V — объем тела; ΔS — площадь вновь образованных поверхностей частиц после разрушения тела.

Вся энергия представлена в виде суммы двух энергий, из которых первая определена по закону Кирпичева-Кика, а вторая — по закону Реттингера.

На процесс измельчения продуктов большое влияние оказывает возникновение и развитие трещин под действием приложенных нагрузок. Принято считать, что концентрация энергии по фронту трещин, образовавшихся в местах дефекта структуры разрушающегося тела, способ-

ствует быстрому разрушению частиц материала при более низких напряжениях, чем это необходимо для нарушения однородной структуры тела.

А.А. Гриффитс впервые установил энергетические условия развития трещин. Кроме того, им определена критическая длина трещины, по достижении которой она после снятия нагрузки с тела не смыкается полностью. Это приводит к благоприятным условиям для концентрации напряжений и дальнейшему развитию трещины при следующем нагружении. Такие трещины получили название трещин Гриффитса. Их критическая длина в пределах 1–10 мкм зависит от свойств материала. Объяснение А.А. Гриффитсом явления хрупкого разрушения основано на понятии энергии, необходимой для распространения трещин.

Измельчение ударом

Зерновые культуры и другие виды сырья, измельчаемые в зерноперерабатывающей промышленности, имеют не значительные размеры. Важнейшей характеристикой механики разрушения служат коэффициенты интенсивности напряжений. Поэтому при анализе процесса разрушения тел от удара выделяют две задачи: определение зависимости коэффициентов интенсивности напряжений от времени для стационарной трещины (то есть когда скорость ее распространения равна нулю), от времени и скорости — для нестационарной трещины; определение закона роста напряжений при нестационарном режиме, если известна зависимость поверхностной энергии от скорости развития дефекта.

При анализе процессов распространения трещин в разрушающем теле обычно используют формулу Гриффитса, которая выражает условие баланса энергии, подводимой к телу извне, и энергии, затрачиваемой на образование в результате развития трещин новых поверхностей в теле. Так, для сферической трещины имеем:

$$\sigma = 2\sqrt{\frac{qE}{R}} \quad (2)$$

или

$$2q = \frac{\sigma^2 R}{2E},$$

где σ — напряжение; q — удельная поверхностная энергия разрушения; E — модуль упругости тела; R — радиус трещины.

Удельная поверхностная энергия разрушения для упругоэластических материалов определяется как сумма удельной поверхностной энергии упругой деформации q_k и удельной энергии пластической деформации q_n :

$$q = q_k + q_n.$$

Если принять условно, что разрушение зерновки происходит за счет упругих деформаций эллиптической трещины, то согласно формуле Гриффитса:

$$q_k = (\sigma_k \sqrt{l})^2 \frac{\pi}{2E},$$

где σ_k — предел прочности материала на разрыв; l — длина трещины.

Если трещина сферическая с радиусом R , то получим формулу (2), представленную выше. Согласно Н.А. Махутову, удельная энергия пластической деформации может быть приближенно определена по формуле:

$$q_n = \frac{2}{3} \sigma_B e_B S_g,$$

где σ_B — временное сопротивление материала на разрыв при пластической относительной деформации e_B ; S_g — толщина пластически деформируемого слоя разрушения.

При развитии трещины отмечают три основных вида деформаций поверхности трещины: нормальный отрыв, поперечный и продольный сдвиг. В частице комбикормового сырья в зависимости от ее формы, а также от направления ударного импульса могут быть реализованы все три вида деформаций.

Рассмотрим простейший случай, когда частица имеет форму куба со стороной b (например, частицы минерального сырья), а поверхность молотка и дики принята как плоскость.

В этом случае может произойти прямой удар или удар с отклонением от прямого на угол α . При ударе молоток сообщает частице ударный импульс $mv_{уд}(1+k)$, где m — масса частицы; $v_{уд}$ — окружная скорость молотка в точке соударения; k — условный коэффициент восстановления нормальной скорости продукта при ударе.

Если удар происходит с отклонением от прямого, то есть $\alpha \neq 0$, то в момент удара возникают нормальная P_n и касательная P_τ составляющие силы:

$$P_n = P \cos \alpha; \\ P_\tau = P \sin \alpha.$$

При таком ударе от нормального напряжения возникает деформация нормального отрыва или поперечного сдвига, а от касательного — деформация продольного сдвига. Одновременно деформация тела возможна вследствие нормального отрыва и продольного сдвига или поперечного и продольного сдвига.

Если исходить из того, что частица разрушается при условии, когда длина трещины l достигает размера b ($l = b$), то формула для расчета критической скорости v_k соударения молотка с частицей, при развитии в ней в результате удара напряжения нормального отрыва или поперечного сдвига, имеет вид:

$$v_k = \frac{T}{\rho \cos \alpha} \sqrt{\frac{\pi q E}{(1 - \mu^2) b^3}}, \quad (3)$$

где T — время ударного импульса; ρ — плотность материала; μ — коэффициент Пуассона.

В случае прямого удара, при $\alpha = 0$,

$$v_k = \frac{T}{\rho} \sqrt{\frac{\pi q E}{(1 - \mu^2) b^3}}. \quad (4)$$

При ударе молотка по частице продукта в дробилках ударного действия частица за время T_1 ударного импульса приобретает скорость $v_{уд}$ точки молотка, в которой произошел удар, и за счет упругих свойств отойдет от молотка.

В этом случае скорость соударения частицы с декой имеет вид: $v_{уд}(1+k)$. Если удар произойдет с отклонением от нормали на угол β , то

$$P_n = v_{уд}(1+k)\cos\beta, \\ P_\tau = v_{уд}(1+k)\sin\beta.$$

Поскольку большинство дробилок ударного действия работают по рассмотренной схеме, рациональным является разрушение частиц продукта за счет удара по нему молотка ротора и удара частиц о деку. В этом случае при первом ударе в частице образуется трещина длиной l_1 , при втором — l_2 , а общая длина равна:

$$l = l_1 + l_2.$$

Тогда при разрушении частицы в результате двух ударов, с учетом того, что $l = b$, критическая скорость (начало интенсивного разрушения)

$$v_k = \frac{T_1 T_2}{\rho} \sqrt{\frac{\pi q E}{b^3 [T_2^2 + T_1^2 (1+k)^2]}}, \quad (5)$$

где T_2 — время ударного импульса при ударе частицы о деку.

Если $T_1 \approx T_2$, то

$$v_k = \frac{T}{\rho} \sqrt{\frac{\pi q E}{b^3 [T^2 + (1+k)^2]}}. \quad (6)$$

Уравнение (5) и (6) имеют смысл в том случае, когда

$$\operatorname{tg}\alpha < f \text{ и } \operatorname{tg}\beta < f,$$

где f — коэффициент трения частиц продукта о поверхность молотка ротора или деки.

Переходя к конкретному виду сырья, предположим, что частицы сырья изотропны по механическим свойствам и имеют правильную форму. Анализируя форму частиц сырья, можно условно принять частицу соли за куб, зерновки пшеницы, ячменя, ржи и т. д. за эллипсоид с размерами по осям c_1, c_2, c_3 , частицу мела, зерновки кукурузы, проса и т. д. за шар диаметром d . Приравнивая объем эллипсоида или шара к объему куба со стороной b , получим размер, который можно использовать в расчетных формулах с учетом того, что $c_2 \approx c_3$:

$$b = \sqrt[3]{\frac{\pi c_1 c_2^2}{6}}; \quad b = d \sqrt[3]{\frac{\pi}{6}}$$

Тогда для зерновок пшеницы, ячменя и других культур уравнение (6) примет вид:

$$v_k = \frac{T}{\rho} \sqrt{\frac{6\gamma q E}{c_1 c_2^2 [1 + (1+k)^2]}}. \quad (7)$$

Полученные зависимости (5—7), в отличие от используе-

мых формул расчета критической скорости В.П. Горячина, В.П. Романдина и других, наряду с такими параметрами, как модуль упругости E , плотность ρ , размер частиц материала b , учитывают коэффициент s , выражающий удельную поверхностную энергию разрушения, а также время ударного импульса T , коэффициенты восстановления k и Пуассона μ , то есть все основные параметры процесса ударной обработки сырья при его измельчении. Это свидетельствует о большой методической обоснованности расчетных формул критических скоростей, вытекающих из теории образования и развития трещин.

При разрушении зерновок пшеницы, ячменя и ржи статическим сжатием, в случае, когда зерновка устанавливается на плоскость пресса бороздкой вниз, образуются две частицы за счет развития трещины в зоне бороздки. На рис. 2 показано действие сил на зерновку при сжатии ее между пластинами пресса. Под действием давления P возникают силы P_τ , которые при достижении определенного значения приводят к разрыву зерновки.

Тогда величина

$$\sigma_k = \frac{2P_\tau}{\Delta S},$$

где ΔS — площадь вновь образованной поверхности при разрушении зерновки.

Влажность пшеницы, которую направляют на переработку в муку и комбикорма, чаще всего составляет 10—17%. Для получения реального значения q_k при наиболее благоприятных условиях в табл. 2 даны расчетные значения параметров для влажности зерна пшеницы 10%.

Для определения наибольшей удельной энергии пластических деформаций за исходное зерно принято зерно пшеницы влажностью 17%. Исследования показали, что в этом случае $\sigma_B = 2,12 \text{ МПа}$; $e_B = 0,067$; $S_g = 0,15 \cdot 10^4 \text{ м}$, тогда $S_n = 1,42 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{м}^2$.

Эта величина при влажности пшеницы 17% почти в 23 раза меньше значения удельной энергии упругой деформации.

В связи с изложенным, а также с тем, что влажность зернового сырья при переработке комбикормов не может быть высокой, в расчетах энергию на пластическую деформацию зерна можно не учитывать.

При ударе зерновки о деку или молотка ротора дробилки по зерновке на нее действует мгновенная сила

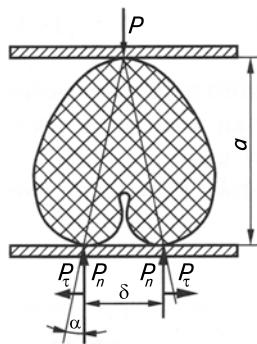


Рис. 2. Схема действия сил на зерновку при ее сжатии между пластинами пресса

$$P = 2m v_{уд} / T.$$

Таблица 2. Расчетные величины для пшеницы влажностью 10%

Обозначение	Средняя величина для i -й фракции — сход с сита с отверстиями размером, мм				Средневзвешенное значение
	1	2	3	4	
	1,7x20	2,0x20	2,5x20	3,0x20	
Размеры зерновки, мм					
ширина	2,84	2,08	1,98	2,15	2,07
длина	6,09	6,16	6,92	6,43	6,61
высота	1,97	2,16	2,61	3,02	2,72
Площадь вновь образованной поверхности, мм ²	9,5	11,0	11,0	11,1	11,0
Сила разрушения, Н	55,7	68,9	74,6	79,1	75,5
Сила разрушения на разрыв, Н	32,6	29,9	26,5	26,5	27,9
Предел прочности на разрыв, МПа	3,43	2,72	2,41	2,40	2,46
Модуль упругости, 10 ² МПа	8,5	8,2	7,7	7,7	7,8
Удельная поверхностная энергия разрушения, Н·м/м ²	42,8	30,6	30,9	35,5	32,9
Количество фракции, %	1,40	11,68	45,32	41,60	—

Исходя из $m = \pi r c_1 c_2^2 / 6$ и уравнения $E = 10^8(a_1 + a_2 P + a_3 W)$ получим

$$E = 10^8 \left(\frac{2\alpha\pi r c_1 c_2^2}{6T} v_k + a_1 + a_3 W \right) \quad (8)$$

Если в формуле (4) пренебречь малой величиной μ^2 , то принимая во внимание форму зерновки (ячменя, пшеницы, рожи), получим

$$v_k = \frac{T}{\rho} \sqrt{6 \frac{qE}{c_1 c_2^2}}. \quad (9)$$

При разрушении зерновки имеем

$$q = \frac{\pi c_2 \sigma_k^2}{2E_k}.$$

Из 9 с учетом последнего выражения после преобразований получим

$$v_k = 5 \cdot 10^8 \frac{c_2 T \sigma_k^2}{\rho E_k} \left[a_2 + \sqrt{a_2^2 + 0,39 \cdot 10^{-8} \frac{E_k}{c_1 c_2^2 \sigma_k^2} (a_1 + a_3 W)} \right]. \quad (10)$$

Аналогично из формулы (7) с учетом (10) получим

$$v_k = 5 \cdot 10^8 \frac{c_2 T \sigma_k^2}{\rho E_k [1 + (1+k)^2]} \times \\ \times \left[a_2 + \sqrt{a_2^2 + 0,39 \cdot 10^{-8} \frac{E_k (a_1 + a_3 W)}{c_1 c_2^2 \sigma_k^2} [1 + (1+k)^2]} \right]. \quad (11)$$

Таким образом, по формуле (10) можно рассчитать критическую скорость удара дробилок при измельчении на них зерновых видов сырья с учетом одного удара, и по формуле (11) — критическую скорость с учетом первого удара рабочих органов (молотков) по зерну и второго удара при отскоке.

Эффективность работы дробилок ударного действия

Основные показатели, характеризующие процесс измельчения и работу дробилок ударного действия, — производительность, удельный расход электроэнергии на измельчение продукта, КПД, гранулометрический состав измельченного продукта, степень измельчения. Ориентировочную производительность (т/ч) молотковых дробилок можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$Q = 3,6 K_c \gamma D_m^2 B n / 60,$$

где K_c — эмпирический коэффициент, который зависит от типа и размеров ситовой поверхности, физико-механических свойств сырья и конструктивных особенностей молотковых дробилок; γ — объемная масса продукта, кг / м³; D_m — диаметр ротора дробилки, м; B — длина ротора дробилки, м; n — частота вращения ротора дробилки, об / мин.

Для сит с диаметром отверстий менее 3 мм $K_c = (1,3 — 1,7) \cdot 10^{-4}$, а для чешуйных сит и для сит с диаметром отверстий 3—10 мм $K_c = (2,2 — 5,2) \cdot 10^{-4}$. Меньшее значение коэффициента K_c — принимают для сит с меньшим размером отверстий.

Производительность (кг / ч) существующих молотковых дробилок можно определить по эмпирической формуле, применяемой фирмой «Ван Аарсен» (Нидерланды):

$$Q = J_{np} ND$$

где J_{np} — приведенный коэффициент размолоспособности сырья, кг / (ч кВт мм); N — мощность основного электродвигателя дробилки, кВт; D — диаметр отверстий сита, установленного в молотковой дробилке, мм.

Коэффициенты размолоспособности отдельных видов сырья J_i определены при испытании молотковых дробилок, их значения представлены ниже, кг/(ч кВт мм):

Ячмень	27
Кукуруза	55
Овес	17
Пшеница	40
Отруби рисовые	15
Отруби пшеничные	33
Шрот соевый	70
Жмых соевый	63

Приведенный коэффициент размолоспособности для нескольких видов сырья, которые могут входить в измельчаемую смесь, рассчитывается как средневзвешенное значение:

$$J_{np} = \sum_1^n J_i X_i / \sum_1^n X_i$$

где X_i — количество вводимого i -го вида сырья в измельченную смесь, %.

Проверка эмпирической зависимости для молотковых дробилок А1-ДДП (ячмень 100%), А1-ДДР (зерновая смесь: 74,1% ячменя, 16,3% пшеницы, 9,6% кукурузы) и А1-ДМР-12 (зерновая смесь: 24,7% ячменя, 29,2% пшеницы, 46,1% кукурузы) показала, что расчетная линейная зависимость достаточно отражает фактическую зависимость изменения производительности дробилок от диаметра отверстий сита.

Прогнозируя фактическую производительность Q_ϕ при измельчении отдельных видов сырья на молотковых дробилках, можно применять следующую формулу

$$Q_\phi = K_1 K_2 K_3 Q$$

где Q — производительность дробилки при измельчении ячменя влажностью 13% до крупности частиц (прохода через сито с диаметром отверстий 3 мм не менее 95%); K_1 — коэффициент размолоспособности; K_2 — коэффициент энергоемкости процесса измельчения; K_3 — коэффициент влажности.

При измельчении на дробилках зерносмесей фактическую производительность можно рассчитывать как средневзвешенное значение:

$$Q_\phi = Q \sum_1^n K_1 K_2 K_3 X_i / 100,$$

где K_1, K_2, K_3 — поправочные коэффициенты i -го вида сырья в смеси; X_i — доля ввода i -го вида сырья, %.

Значения коэффициента K_1 :

Ячмень 1,0

Пшеница 1,3

Рожь 1,4

Овес для дробилок:

Молотковых 0,7

Бесситовых 1,2

Кукуруза 1,5

Горох 1,5

Значения коэффициентов K_2 и K_3 изменяются в зависимости от крупности готового продукта (проход через сито с отверстием d) и влажности исходного сырья W . Их можно определить по номограммам, полученным по результатам исследований (рис. 3)

Удельный расход электроэнергии на переработку сырья в дробилке, кВт·ч/т,

$$\Delta N_d = N_{\text{раб}} / Q$$

где $N_{\text{раб}}$ — мощность электродвигателя дробилки при рабочей нагрузке, кВт; Q — производительность дробилки при этой нагрузке, т/ч.

Удельный расход электроэнергии на сам процесс измельчения сырья без учета затрат энергии на холостой ход дробилки, кВт·ч/т,

$$\Delta N_\pi = \frac{N_{\text{раб}} - N_{\text{хх}}}{Q}$$

где $N_{\text{хх}}$ — мощность электродвигателя на холостом ходу, кВт.

ΔN_π позволяет объективно судить об эффективности процесса измельчения в дробилках разной производительности и конструкции. Минимально необходимые удельные затраты энергии (кВт·ч/т) на измельчение зерновой культуры ударом q_3 можно определить с помощью эмпирической формулы:

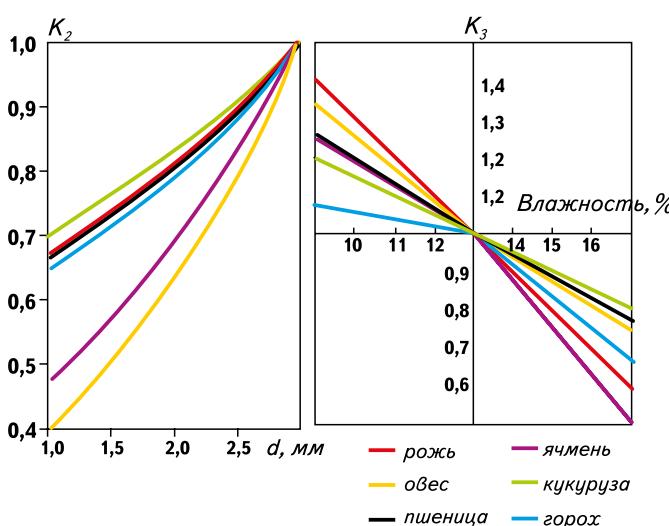


Рис. 3. Номограммы для определения коэффициентов энергоемкости K_2 и влажности K_3 для зернового сырья, измельчаемого с промежуточным просеиванием

Таблица 3. Значения эмпирических коэффициентов при влажности зерна 13%

Зерновые культуры	a_0 , (кВт·ч)/т	a_1 , (кВт·ч)/(т·мм)	a_2 , кВт·ч/(т·мм ²)
Ячмень	11,5	6,5	1,2
Овес	6,1	1,2	0
Пшеница	4,3	1,4	0,2
Кукуруза	3,3	0,7	0,1
Рожь	4,6	1,5	0,2

$$q_s = a_0 - a_1 D + a_2 D^2,$$

где a_0, a_1, a_2 — эмпирические коэффициенты (табл. 3); D — предельная крупность измельченных частиц или диаметр отверстий сит в дробилке, мм.

КПД, %, рассчитывается следующим образом —

для дробилки: $\eta_d = 100 q_s / \Delta N_d$;

для процесса измельчения: $\eta_p = 100 q_s / \Delta N_p$.

Степень измельчения продуктов

$$i = \bar{d}_{\text{исх}} / \bar{d}_{\text{изм}},$$

где $\bar{d}_{\text{исх}}$ — средний размер частиц исходного продукта, мм; $\bar{d}_{\text{изм}}$ — средний размер частиц измельченного продукта, мм.

Минимально возможное количество мелких (пылевидных) частиц ψ при измельчении зернового сырья ударом (%) можно определить по эмпирическим формулам — для ячменя, пшеницы, овса:

$$\psi = 100 \frac{d}{D} \sqrt{\frac{d}{D}};$$

для кукурузы:

$$\psi = 100 \frac{d}{D} \sqrt{d},$$

где d — размер отверстий лабораторного сита, проход че-рез которое составляет пылевидная часть измельченного продукта, мм.

Продолжение в следующих номерах. ■

Источник: Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф. Веденев, А.Е. Яблоков, I и III части под ред. Л.А. Глебова, II часть под ред. А.Б. Деменского. — М.: ДeЛи прнт, 2010. — 696 с.