

Summary

As a result of the conducted researches is placed, that futtern on the basis of microbic fibers from promotes rise of productivity repair molodyay of the egg hens.

Key words: the fodder additive, microbic fibers, molodyay of the egg hens.

УДК 631.363.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕПАРИРУЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ К ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЮ-СМЕСИТЕЛЮ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПА

А.В. Китун

БГАТУ, г. Минск

Важным показателем, характеризующим измельчитель кормов, является его производительность. Для измельчителей зернофуража этот показатель во многом зависит от просеиваемости ситовой поверхности. Используемые для этой цели решета пропускают измельченный продукт, обеспечивая заданную степень его измельчения. Проблеме определения севкости решет посвящен целый ряд научных работ [1–3]. Однако все исследования проводились на дробилках с горизонтально расположенным валом и закрепленными на нем рабочими органами, которые были охвачены решетом. Это дает основание для рассмотрения вопроса о просеиваемости решет, закрепленных горизонтально внутри вертикально установленной рабочей камеры.

Решето в измельчителе-смесителе кормов ИСК-3 является сепарирующим органом. Его перфорированная поверхность может иметь различные по форме и диаметру отверстия, через которые отделяется измельчаемое зерно при выполнении технологического процесса. Таким образом, эффективность работы измельчителя зерна (удельная энергоемкость, производительность, степень измельчения материала) зависит от пропускной способности решета, которая характеризует предельную возможность просеивания продукта измельчения через сепарирующую поверхность. Для определения этого параметра решета проанализируем рабочий процесс, протекающий в камере измельчения.

Зерновой корм, поступая в рабочую камеру измельчителя, подвергается воздействию вращающихся рабочих органов. При этом часть энергии затрачивается на разрушение зерна, а часть – на преодоление сил трения частиц по поверхности решета и рабочей камеры. В результате частицы начинают перемещаться по плоскости решета. Если на

пути встречается отверстие, в раствор которого частица вписывается, то она перемещается по каналу в сторону выгрузки.

Таким образом, пропускная способность решета зависит от высоты перемещаемого по его плоскости слоя продукта, т.е.

$$Q_{p1} = s_c \rho_{\text{ч}} h_{\text{слоя}} \omega_p, \quad (1)$$

где s_c – площадь сепарирующей поверхности, м^2 ;

$\rho_{\text{ч}}$ – плотность измельчаемого продукта, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$h_{\text{слоя}}$ – высота перемещаемого по плоскости решета слоя продукта, м;

ω_p – частота вращения ротора измельчителя, с^{-1} .

Особое значение в пропускной способности решет имеет интенсивность прохода измельченного продукта через отверстия в сите. В этом случае пропускную способность можно определить по формуле

$$Q_{p2} = s_c \rho_{\text{ч}} V_{\text{пр}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{пр}}$ – скорость прохождения измельченного продукта через отверстия в решетке, м/с.

Тогда формула для определения пропускной способности решета будет иметь вид

$$Q_p = S_c \rho_{\text{ч}} V_{\text{пр}} + h_{\text{сл}} \omega_p. \quad (3)$$

На основании графика векторов определим абсолютную скорость частицы перемещаются в зарешетное пространство:

$$V_{\text{пр}} = V_a = \frac{V_n}{\cos \alpha_1}, \quad (4)$$

где V_n – нормальная составляющая абсолютной скорости прохождения частицы через отверстие в решетке, м/с;

α_1 – угол между векторами скоростей, град.

Значение угла $\cos \alpha_1$ можно определить по формуле

$$\cos \alpha_1 = \frac{D - d_{\text{ч}}}{\sqrt{h_{\text{реш}}^2 + (D - d_{\text{ч}})^2}}, \quad (5)$$

где D – диаметр отверстия в решетке, м;

$h_{\text{реш}}$ – толщина решета, м;

$d_{\text{ч}}$ – диаметр частицы, м.

Для определения нормальной составляющей абсолютной скорости можно воспользоваться формулой [4]:

$$V_n = D - d_{\text{ч}} \sqrt{\frac{3g}{2d_{\text{ч}}}}, \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Подставив в формулу (4) значения (5) и (6), определим скорость прохождения частиц через отверстие в решетке:

$$V_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{3g}{2d_{\text{ч}}} \left[h_{\text{реш}}^2 + D - d_{\text{ч}}^2 \right]}. \quad (7)$$

Из формулы (7) видно, что одним из показателей, характеризующих пропускную способность решетки, является площадь сепарирующей поверхности. Ее можно определить в общем виде по формуле

$$S_c = S_{\text{общ}} - S_{\text{отв}}, \quad (8)$$

где $S_{\text{общ}}$ – площадь поверхности решетки, м^2 .

Для измельчителя-смесителя с вертикально установленной рабочей камерой этот показатель можно определить по формуле

$$S_{\text{общ}} = \pi(R_k^2 - R_p^2), \quad (9)$$

где R_k – радиус рабочей камеры измельчителя-смесителя, м ;

R_p – радиус ротора измельчителя-смесителя, м .

Площадь сепарирующих отверстий на решетке определяется по формуле

$$S_{\text{отв}} = \frac{\pi D^2}{4} i_0, \quad (10)$$

где i_0 – число отверстий в решетке.

Подставив в формулу (10) соответствующие значения, получим уравнение для определения площади сепарирующей поверхности:

$$S_c = \pi \left[R_k^2 - R_p^2 - \frac{D^2 i_0}{4} \right]. \quad (11)$$

Полученная формула (11) применима для определения пропускной способности решетки при перемещении частиц только в вертикальной плоскости. В рабочем режиме измельчителя загружаемый в рабочую камеру материал подвергается воздействию ножей. В результате он вовлекается в круговое движение. Следовательно, при определении площади сепарирующих отверстий решетки необходимо диаметр отверстий определять с учетом его трансформирования, при этом для про-

хождения частиц корма через отверстия должно быть выполнено условие

$$D = \frac{d_q}{\cos \alpha_1}. \quad (12)$$

Высоту перемещаемого по плоскости решета продуктового слоя можно определить из условия $V_n^1 h_n = h_{cl} V_{cl}$, откуда

$$h_{cl} = \frac{V_n^1 h_n}{V_{cl}}, \quad (13)$$

где V_n^1 – скорость поступления материала в камеру измельчения, м/с;

h_n – высота поступающего в камеру измельчения материала, м;

V_{cl} – скорость перемещаемого по плоскости решета слоя материала, м/с.

Подставив в формулу (3) значения соответствующих составляющих, получим формулу для определения пропускной способности решета:

$$Q_p = \pi \left[R_k^2 - R_p^2 - \frac{d_q^2 \cdot i_0 [h_{perm} + D - d_q^2]}{4 D - d_q^2} \right] \rho_q \left(\sqrt{\frac{3g}{2d_q} [h_{perm}^2 + D - d_q^2]} + \frac{V_n^1 h_n}{V_{cl}} \rho_p \right). \quad (14)$$

Анализ формулы (14) показывает, что пропускная способность решета в установившемся режиме работы измельчителя зависит от ряда факторов. Так, с положительным увеличением отношения геометрических размеров рабочей камеры и ротора измельчителя производительность будет возрастать. Данный вывод подтверждается и рядом исследований [5–7]. Следовательно, в измельчителе с вертикально установленной рабочей камерой ее периметр должен быть максимально перекрыт решетом.

При максимально возможной площади решета площадь его живого сечения зависит от диаметра отверстий и их числа, приходящегося на единицу поверхности. С целью увеличения пропускной способности следует выбирать наибольший диаметр отверстия. Увеличение диаметра отверстий снижает и затраты энергии на выполняемый процесс. Однако увеличение этого параметра решета влечет за собой рост крупности измельчаемого материала, что при определенных условиях лишает смысла эксплуатацию измельчителя. Диаметр отверстий в решетке следует выбирать в зависимости от требований к конечному продукту. Максимальное их число в единице площади определяется конструктивно с учетом прочности решета.

На устойчивую работу измельчителя оказывает влияние равномерность подачи материала в рабочую камеру. Соблюдение такого режима работы машины возможно при максимальном соответствии подачи и интенсивности прохождения частицами ситовой поверхности. При несоблюдении второго условия может иметь место завал рабочей камеры. При малой подаче этот недостаток устраним. Однако в этом случае процесс измельчения протекает малоэффективно, так как происходит недоиспользование мощности электродвигателя.

Увеличить пропускную способность измельчителя зерновых кормов можно только за счет увеличения диаметра отверстий в решете и их живого сечения. Эти две зависимости позволили предположить возможность организации измельчения зернового корма по мере прохождения через рабочую камеру, что достигается путем установки нескольких ярусов решет с разным диаметром отверстий. Для проверки выдвинутой гипотезы необходимо было проведение экспериментальных исследований.

На основании ранее полученных результатов в нижнем ярусе было решено устанавливать решето с диаметром отверстий, равным 3 мм. В этом случае обеспечивается требуемое качество измельчения зерна.

Для определения диаметра отверстий в верхнем решете был поставлен однофакторный эксперимент. В ходе его проведения в верхнем ярусе, поочередно, устанавливали решета с диаметром отверстий 4, 5 и 6 мм. Зазор между решетками и ножами в каждом ярусе был равным 5 мм. Другие (основные) элементы конструкции ротора измельчителя на протяжении всего эксперимента оставались без изменений. Опыты проводились с трехкратным повтором по общепринятой методике [8]. Результаты эксперимента представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Производительность и энергетические показатели модуля к многофункциональному измельчителю-смесителю кормов вертикального типа с поярусным размещением решет

Производительность, удельная энергоёмкость	Диаметр отверстий в решете, мм (в числителе – верхнего решета, в знаменателе – нижнего решета)		
	$\frac{6}{3}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{4}{3}$
т/ч	2,63	2,77	2,68
кВт ч/т	8,3650	7,9518	8,1987

Таблица 2. Экспериментальные показатели измельчения зернофуража модулем с поярусно установленными решетками к многофункциональному измельчителю вертикального типа

Эксперимент	Распределение частиц по фракциям, %					Степень измельчения, мм
	0,25мм <	0,25–1,0мм	1,0–2,0мм	2,0–3,0мм	>3мм	
6/3	13,9	30,3	54,8	1,3	–	0,98
5/3	10,4	32,7	56,3	0,7	–	1,00
4/3	12,1	31,7	55,1	1,1	–	0,99

Обработку результатов проводили в следующей последовательности. Для каждой серии опытов вычислили среднее арифметическое \bar{y} и дисперсию воспроизводимости опыта S_y^2 . Дисперсию определяем из выражения

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}{m - 1}, \quad (15)$$

где y_i – значение функции отклика в i -ом опыте;

m – число опытов в серии, $m=3$.

Результаты расчета дисперсии воспроизводимости приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты опытов и расчета дисперсий

Факторы	y_1	y_2	y_3	\bar{y}	S_y^2
∅ 6/3	8,3333	8,3969	8,3650	8,365	0,001
∅ 5/3	7,9422	7,9422	7,9710	7,9518	0,0002
∅ 4/3	8,1784	8,2089	8,2089	8,1987	0,0001
					$\sum S_y^2 = 0,0013$

Однородность дисперсий опытов проверяем по критерию Корхена:

$$\sigma_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum S_y^2} = \frac{0,001}{0,0013} = 0,76. \quad (16)$$

Табличное значение критерия σ_t при 5-процентном уровне значимости для $N=3$ и $m=1-2$ равно **0,8709**. Так как расчетное значение меньше табличного, то гипотеза однородности принимается.

Убедившись в однородности дисперсий S_y^2 , можно вычислить дисперсию S^2 воспроизводимости эксперимента:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_y^2}{N} = \frac{0,0013}{3} = 0,00043. \quad (17)$$

Уравнение регрессии, описывающее однофакторный эксперимент, имеет вид

$$y = b_0 + b_1 x_1, \quad (18)$$

где b_0, b_1 – коэффициенты регрессии;

x_1 – кодированное значение фактора.

Для получения значений коэффициентов регрессии воспользуемся формулами

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i x_i \sum_{i=1}^n x_i}{N \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}; \quad b_1 = \frac{N \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i}{N \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}. \quad (19)$$

Результаты вычислений значений для определения коэффициентов регрессии представлены в таблице 4.

Таблица 4. Расчетная таблица для определения коэффициентов регрессии

Номер опыта	x_1	y	x_1^2	$y x_1$	y^2	$x+y$	$(x+y)^2$
1	+6	8,365	36	50,19	69,9732	14,365	206,3532
2	+5	7,9518	25	39,759	63,2311	12,9518	167,7491
3	+4	8,1987	16	32,7948	67,2187	12,1987	148,8082
\sum	15	24,5155	77	122,7438	200,4229	–	522,9106

Воспользовавшись значениями, приведенными в таблице 4, определим коэффициенты регрессии:

$$b_0 = \frac{24,5155 \cdot 77 - 122,7438 \cdot 15}{3 \cdot 77 - 15^2} = 7,76; \quad b_1 = \frac{3 \cdot 122,7438 - 24,5155 \cdot 15}{3 \cdot 77 - 15^2} = 0,083. \quad (20)$$

Тогда уравнение регрессии будет иметь вид

$$y=7,76+0,083x_1. \quad (21)$$

Для проверки значимости коэффициентов регрессии воспользуемся критерием Стьюдента. Определим доверительный интервал:

$$\Delta b = \pm t \sqrt{S^2} = 2,447 \cdot 0,021 = 0,051, \quad (22)$$

где t – табличное значение критерия Стьюдента. При числе степеней свободы $f = N(m-1) = 3(3-1) = 6$ и 5-процентном уровне значимости $t=2,447$.

Так как абсолютные величины коэффициентов регрессии больше доверительного интервала, то они являются статистически значимыми.

Дисперсию адекватности определим по формуле

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta y^2}{f} = 0,00126, \quad (23)$$

где Δy – остаточная сумма квадратов;

f – число степеней свободы, $f=N-2=3+2=1$.

Для определения остаточной суммы квадратов составим табл. 5.

Гипотезу об адекватности проверим, воспользовавшись критерием Фишера:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S} = \frac{0,00126}{0,00043} = 2,83. \quad (24)$$

Таблица 5. Результаты определения остаточной суммы квадратов

Номер опыта	y1	y2	y3	\bar{y}	Δy	Δy^2
1	8,3333	8,3969	8,3650	8,365	0,32	0,00102
2	7,9422	7,9422	7,9710	7,9518	0,0096	0,0000922
3	8,1784	8,2089	8,2089	8,1987	0,102	0,0001
						$\sum \Delta y^2 = 0,00126$

При 5-процентном уровне значимости и числах степеней свободы $f_1=N-2=3+2=1$ и $f_2=N(t-1)=3 \cdot 2=6$ табличное значение F -критерия равно **5,99**. Так как $F < F_{т.}$, то модель, представленная уравнением регрессии, адекватна.

Если сравнить результаты с полученными ранее, то можно сделать вывод, что выдвинутая гипотеза подтвердилась. Так, при установ-

ке в рабочей камере измельчителя-смесителя кормов ИСК-3 модуля, включающего в себя два решета с диаметрами отверстий, в последовательности 5 и 3 мм удельная энергоёмкость процесса дробления в этом случае была равна $7,95 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$ при производительности 2,77

т/ч. Улучшение основных показателей объясняется стабилизацией протекающего процесса измельчения зерна. Просеивание зерна через отверстия верхнего решета обеспечивает благоприятные условия для своевременного удаления мелких частиц из рабочей зоны ножей. На верхнем решете зерно измельчается на крупную фракцию, а в рабочей зоне нижнего решета эта фракция до измельчается на частицы необходимого размера. Таким образом, в предложенном модуле с двумя ярусами последовательно расположенных решет выполняется важный технологический процесс – сепарация зерна по мере его измельчения.

Литература:

1. Ревенко И.И. О влиянии скорости молотков на эффективность процесса измельчения кормовых материалов // Тракторы и сельхозмашины. – 1971. - №3 – С. 31-33.
2. Мельников С.В. Исследование рабочего процесса молотковой дробилки и разработка оснований к проектированию рационального типа машины для дробления зерна: Автореф. дис. канд. тех наук – Л., 1952. – 35 с.
3. Соловьев И.К. Исследование механики процесса дробления ингредиентов комбикормов в молотковой дробилке: Дис. канд. техн наук. – М., 1961. – 239 с.
4. Соловьев И.К. Работа ситовой поверхности молотковой дробилки // Тракторы и сельхозмашины. – 1963. – №6. – С. 25-27.
5. Тарасенко А.М., Спорихин В.В. Влияние площади сита на работу молотковой дробилки при центральном и радиальном способах загрузки // Улучшение эксплуатации машинно-тракторного парка, совершенствование конструкции и ремонт сельскохозяйственной техники: Сб. науч. тр. Воронежского СХИ. Т. 62. – 1974. – С. 127-130.
6. Гришин М.Е., Рошин П.М. Влияние параметров решет дробилки на показатели процесса измельчения // Механизация сельскохозяйственного производства: Сб. науч. тр. Т. 149. – 1970. – С. 131-134.
7. Зеленов А.А. О работе решета молотковой дробилки // Сельхозмашины. – 1953. – №4. – С. 15-19.
8. Адлер Б.П. и др. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений/ Б.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – С. 20-156.

Резюме

Приведен теоретический расчет определения производительности измельчителя зернофуража вертикального типа. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров сепарирующих рабочих органов к измельчителю зернофуража вертикального типа.