

УДК 631.363.2

Д. В. КАСПЕРОВИЧ, В. И. ПЕРЕДНЯ, А. В. КИТУН, А. А. РОМАНОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПИТАТЕЛЯ ТРУДНОСЫПУЧИХ КОМПОНЕНТОВ
КОРМОВЫХ ДОБАВОК С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ДЛИНЫ ПРОТИВОРЕЖУЩЕГО
ЭЛЕМЕНТА ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА**

*Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: Kasperovich_dima@mail.ru*

Предложена конструкция питателя кормовых добавок с измельчающим устройством, которая позволяет совместить процессы дозированной подачи кормовых добавок и измельчения. Описано устройство и процесс работы измельчителя. Определена длина фронтальной грани противорежущей пластины, по которой перемещается измельчаемый материал, что позволяет создать противорежущий эффект с минимальными затратами энергии.

Ключевые слова: животноводство, питатель, измельчитель, противорежущая пластина, корма.

D. V. KASPEROVICH, V. I. PEREDNYA, A. V. KITUN, A. A. ROMANOVICH

**SUBSTANTIATION OF THE CONSTRUCTION OF A FEEDER WITH A CRUSHER DETERMINING
THE LENGTH OF A CRUSHER SHEAR KNIFE**

The Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: Kasperovich_dima@mail.ru

The article proposes the construction of a feeder with a crusher which allows combining feed additives supply together with crushing. The crushing device and its work are described. The length of the frontal side plane of a shear knife is determined what enables to have a shear effect with minimum energy cost.

Keywords: livestock, feeder, crusher, shear knife, feed.

Введение. Известно, что в себестоимости животноводческой продукции стоимость кормов составляет 60–75 %. В последние годы все больше животноводческих хозяйств решают задачу организации производства полнорационных комбикормов непосредственно на месте. Производство сбалансированных по всем питательным веществам комбикормов, которые полностью удовлетворяли бы потребностям производителей животноводческой продукции, требует использования сложных технологических приемов и многих десятков видов сырья [1].

Одним из наиболее перспективных направлений совершенствования процесса приема и выдачи трудносыпучих материалов является применение питателей-накопителей. Недостатком существующих питателей кормов является большая удельная энергоемкость и металлоемкость выполнения технологического процесса, так как для их измельчения необходимо дополнительно устанавливать измельчитель кормов и подающий транспортер [2].

Цель работы – разработать конструкцию питателя кормовых добавок с измельчающим устройством, которая позволит совместить процессы дозированной подачи кормовых добавок и измельчения, и обосновать длину противорежущей пластины измельчающего устройства.

Накопительные емкости, питатели и дозаторы компонентов кормов являются обязательным оборудованием линии приготовления белково-витаминно-минеральных добавок и по своим техническим характеристикам определяют технический уровень и удельные показатели компонента оборудования в целом. Питатель-накопитель предназначен для создания определенного запаса кормов и дозированной подачи их на дальнейшую обработку.

Недостатком существующих питателей кормов является большая удельная энергоемкость и металлоемкость выполнения технологического процесса подготовки кормов к скармливанию, так как для их измельчения необходимо дополнительно устанавливать измельчитель кормов и подающий транспортер. В настоящее время известны следующие питатели-дозаторы: КТУ-20,

Технические характеристики питателей-дозаторов

Показатель	Марка машины				
	ПДК-10	КПГ-10-46	БДК-Ф-70	ПЗМ 1,5	КТУ-20
Производительность, т/ч	3,60–35,28	3,00–7,00	4,20–41,60	4,45	5,00–30,00
Емкость бункера, м ³	20	30	20	25	10
Установленная мощность, кВт	4,0	7,0	8,0	9,5	4,5
Масса, кг	4200	6621	4900	4540	2700
Удельная энергоёмкость, кВт/т·ч	1,11–0,11	2,34–1,00	2,00–0,20	2,10	1,50–0,25
Габаритные размеры, мм					
длина	7964	6725	6200	9700	–
ширина	3540	5200	5750	3685	–
высота	3060	2490	2400	3050	–
Неравномерность выдачи корма, %	10,43–22,83	35,20–45,60	13,30–16,80	–	6,20–22,60
Коэффициент готовности	0,99	0,93	0,95	0,98	–

ПЗМ-1,5, БДК-Ф-70, ПДК-10. Технические характеристики питателей-дозаторов приведены в таблице [3].

Анализ технического уровня и технико-экономических показателей питателей-дозаторов позволил выявить следующее. Питатель КТУ-20 требует для загрузки грейферный погрузчик, имеет небольшую емкость и не удовлетворяет требованиям по качеству дозирования.

Питатель-дозатор КПГ-10 отличается большой металлоемкостью и более низким качеством дозирования, имеет излишне большую ширину бункера (4 м.) Поставка питателя-дозатора в разборном виде требует значительных затрат труда на сборку в цехе. Кроме того, питатель-дозатор обладает низкой производительностью, недостаточной надежностью.

Питатель-дозатор ПДК-10 на 72 % унифицирован с питателем ПЗМ 1,5 и отличается от него тем, что не имеет подъемного лотка с гидроприводом и оборудован удлиненным на 2 м конвейером. Питатель-дозатор ПЗМ 1,5 имеет большую энергоёмкость, что также не позволяет его рекомендовать для использования.

Бункер-дозатор БДК-Ф-70 отличается лучшими показателями качества дозирования, так как оборудован дозатором второй ступени ДСК-30, однако он более сложен в изготовлении. При двухступенчатом дозировании регулируемая производительность второй ступени ДСК-30 не совпадает с производительностью первой ступени, из-за чего питатель должен автоматически отключаться и включаться в зависимости от количества материала в дозаторе ДСК-30.

Для решения данного недостатка нами предлагается в питателе кормов (рис. 1) дополнительно установить измельчитель (рис. 2). Измельчитель представляет собой шнек, по длине которого необходимо выполнить разрывы шнековой навивки, между ними установить ножи, по обе стороны которых на кожухе шнека неподвижно закрепить противорежущие пластины, торцевые грани которых расположить параллельно направлению результирующей скорости движения корма по смежной плоскости витка шнека. Так как шнек разделен ножами на несколько измельчающих аппаратов, то образуются несколько рабочих зон. В рабочую зону I шнека поступает только неизмельченный корм, а в рабочую зону II, III, IV – как измельченный, так и исходный корм.

При работе шнека витки I части перемещают корм в рабочую зону ножей, закрепленных на валу шнека, и противорежущих элементов, закрепленных на внутренней поверхности кожуха. По мере перемещения корма витками шнека в I рабочей зоне происходит его частичное уплотнение, поэтому масса корма, проходя между ножами и противорежущими элементами первого измельчающего аппарата, частично измельчается, с минимальными затратами энергии.

Так как витки I части шнека обеспечивают постоянную подачу корма, то измельченные частицы после первой ступени попадают в рабочую зону витков шнека II зоны. Одновременно во II зону шнека обеспечивается подача исходного корма с питателя, размер частиц которого больше поступающих с I зоны. Следовательно, при перемещении всей массы корма происходит смешивание измельченного и исходного корма, при этом более мелкие частицы заполняют полости между крупными частицами, образуя более плотную массу корма.

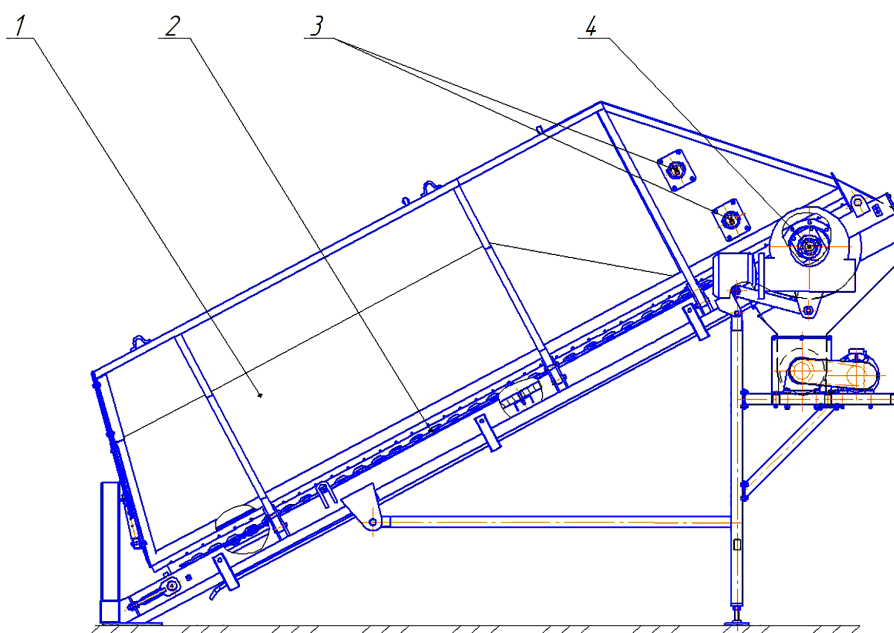


Рис. 1. Общий вид питателя-измельчителя кормов: 1 – бункер; 2 – подающий транспортер; 3 – блок битеров; 4 –измельчитель

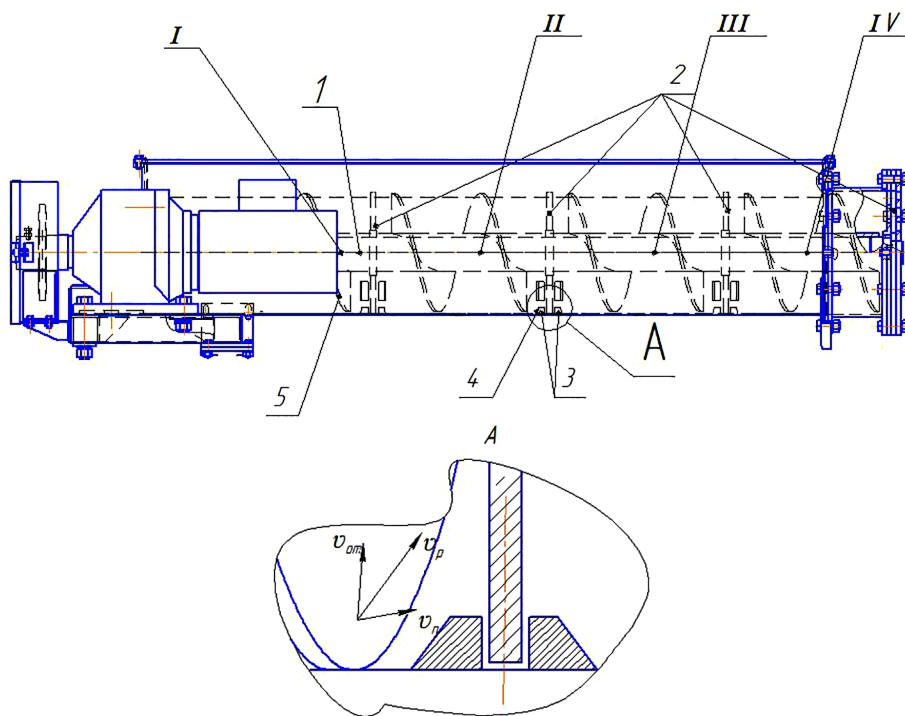


Рис. 2. Общий вид измельчителя кормови схема сил, действующих на частицу корма в шнеке: 1 – шнек; 2 – ножи; 3 – противорежущий элемент; 4 – фронтальная грань противорежущего элемента; 5 – навивка шнека

Данная смесь витками шнека перемещается ко второму измельчающему аппарату, ножи которого ввиду плотного образования массы осуществляют процесс резания при минимальных затратах энергии. В зонах III и IV процесс перемещения и измельчения повторяется. Кроме того, так как масса представляет собой более плотное образование, то происходит выравнивание granulometric composition of the final ground product.

Так как витки шнека расположены под углом к вертикальной плоскости, следовательно, корма перемещаются под действием переносной и относительной скоростей, результирующая скорость которых направлена вдоль плоскости витка шнека.

Поскольку торцевые грани противорежущей пластины расположены параллельно направлению результирующей скорости движения корма по смежной плоскости витка шнека, то кормовой поток перемещается по наклонной грани торцевой поверхности с минимальным сопротивлением, следовательно, затраты энергии на выполняемый процесс снижаются.

Так как процесс перемещения корма с витков шнека на торцевую поверхность противорежущей пластины происходит с минимальным сопротивлением, то исключается накопление перед противорежущей пластиной корма, в результате чего не происходит разрыв частиц корма, что улучшает качество конечного продукта.

Для создания противорежущего эффекта с минимальными затратами энергии необходимо определить длину фронтальной грани, по которой перемещается измельчаемый материал.

Так как фронтальная грань противорежущего элемента расположена параллельно направлению результирующей скорости перемещения корма витком шнека, то для определения данного параметра рассмотрим только силы, действующие на частицу корма при движении ее по фронтальной плоскости противореза (рис. 3).

На частицу корма, перемещающуюся по фронтальной плоскости противореза, действуют следующие силы [4]:

– сила трения частицы о поверхность противореза:

$$F_m = f_k m_k g, \quad (1)$$

где f_k – коэффициент трения корма по металлу; m_k – масса корма, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²;

– центробежная сила:

$$F_{ц} = m_k \omega_c^2 l_{ф.п}, \quad (2)$$

где ω_c – угловая скорость перемещения корма по плоскости противореза, с⁻¹; $l_{ф.п}$ – длина фронтальной плоскости противореза, м;

– Кориолисова сила:

$$F_{кор} = 2m_k \omega_c \frac{dl_{ф.п}}{dt}, \quad (3)$$

где $dl_{ф.п}/dt$ – скорость движения частицы корма по плоскости противореза, м/с.

Тогда уравнение, описывающее условие перемещение частицы корма по фронтальной плоскости противореза, будет иметь такой вид:

$$F_{ц} - F_k - F_{тр} = 0.$$

Так как на перемещение частицы корма затрачивается работа, то дифференциальное уравнение движения частицы корма по плоскости противореза можно записать в следующем виде:

$$m_k \frac{d^2 l_{ф.п}}{dt^2} - m_k \omega_c^2 l_{ф.п} + 2f m_k \omega_c \frac{dl_{ф.п}}{dt} = -f_k m_k g, \quad (4)$$

где $m_k \frac{d^2 l_{ф.п}}{dt^2}$ – работа, затрачиваемая на перемещение частицы корма по фронтальной плоскости противореза, Дж.

Полученное уравнение является линейно-неоднородным 2-го порядка, общее решение его складывается из общего решения однородного линейного уравнения:

$$\frac{d^2 l_{ф.п}}{dt^2} - \omega_c^2 l_{ф.п} + 2f_k \omega_c \frac{dl_{ф.п}}{dt} = 0. \quad (5)$$

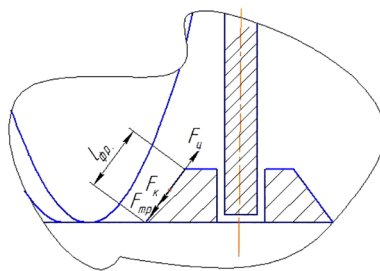


Рис. 3. Схема к расчету длины фронтальной грани противореза

Решая уравнение (5), получим:

$$l_{\phi,п} = C_1 e^{(f_k \omega_c + \omega_c \sqrt{f_k^2 + 1})t} + C_2 e^{(f_k \omega_c - \omega_c \sqrt{f_k^2 + 1})t}. \quad (6)$$

Находим частное решение неоднородного уравнения (4). При $l_p = c$ имеем $\frac{d^2 l_{\phi,п}}{dt^2} = 0$ и $\frac{dl_{\phi,п}}{dt} = 0$. Тогда уравнение (4) будет иметь вид $0 + 0 - \omega_c^2 C = -fg$, откуда $C = -(fg / \omega_c^2)$.

Искомое общее решение уравнения будет иметь такой вид:

$$l_{\phi,п} = C_1 e^{(f_k \omega_c + \omega_c \sqrt{f_k^2 + 1})t} + C_2 e^{(f_k \omega_c - \omega_c \sqrt{f_k^2 + 1})t} + \frac{f_k g}{\omega_c^2}. \quad (7)$$

При начальных условиях $t = 0, l_{\phi,п} = 0, \frac{dl_{\phi,п}}{dt} = 0$ получим:

$$\begin{cases} l_{\phi,п0} = C_1 + C_2 + \frac{f_k g}{\omega_c^2} = 0; \\ l_{\phi,п0} = C_1 \omega_c (f_k + \sqrt{f_k^2 + 1}) + C_2 \omega_c (f_k - \sqrt{f_k^2 + 1}) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Решим систему уравнений относительно C_1 и C_2 :

$$\begin{cases} C_1 = \frac{f_k g}{\omega_c^2} \left(\frac{f_k + \sqrt{f_k^2 + 1}}{2\sqrt{f_k^2 + 1}} - 1 \right); \\ C_2 = \frac{(f_k + \sqrt{f_k^2 + 1}) \left(-\frac{f_k g}{\omega_c^2} \right)}{2\omega_c^2 \sqrt{f_k^2 + 1}}. \end{cases} \quad (9)$$

При известных значениях коэффициентов C_1 и C_2 решение уравнения (5) будет иметь следующий вид:

$$l_{\phi,п} = \frac{f_k g}{\omega_c^2} \left[\left(\frac{f_k + \sqrt{f_k^2 + 1}}{2\sqrt{f_k^2 + 1}} \right) e^{(f_k \omega_c + \omega_c \sqrt{f_k^2 + 1})t} - \left(\frac{f_k + \sqrt{f_k^2 + 1}}{2\omega_c^2 \sqrt{f_k^2 + 1}} \right) e^{(f_k \omega_c - \omega_c \sqrt{f_k^2 + 1})t} + 1 \right]. \quad (10)$$

Формула (10) позволяет определить длину фронтальной грани противорезающей пластины, что позволит осуществлять процесс резания с минимальными затратами энергии. Данный показатель зависит от физико-механических свойств кормов, угловой скорости шнека и времени, затрачиваемого на перемещение частицы корма по фронтальной плоскости противореза.

Закключение. Таким образом, использование измельчающего устройства в питателе трудно-сыпучих компонентов БВМД позволит уменьшить удельную энергоёмкость и металлоёмкость выполняемого технологического процесса подготовки кормов к скармливанию, так как для их измельчения нет необходимости дополнительно устанавливать измельчитель и подающий транспортер. Определение длины фронтальной грани противорезающей пластины позволит осуществлять процесс резания с минимальными затратами энергии.

Список использованных источников

1. *Передня, В. И.* Механизация приготовления кормосмесей на фермах крупного рогатого скота / В. И. Передня. – Минск: Ураджай, 1990. – 152с.
2. *Передня, В. И.* Малозатратные технологические процессы – основы получения конкурентоспособной продукции: к 80-летию со дня рождения и к 55-летию творческой деятельности В. И. Передни / В. И. Передня. – Минск: Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2013. – 132 с.
3. Механизация приготовления кормов: справ. / В. И. Сыроватка [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1985. – 368 с.
4. *Китун, А. В.* Приготовление и раздача кормов крупному рогатому скоту многофункциональными машинами: дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / А. В. Китун. – Минск, 2012. – С. 169–177.

Поступила в редакцию 22.12.2015