

Ю. А. Башко¹, В. Н. Кецко², И. Р. Юсифов³

¹РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: npc_mol@mail.ru

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

³ООО «Зелтавет»

г. Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОАКТИВАЦИИ СЛОЯ СТЕБЕЛЬЧАТОГО КОРМА ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ И РАЗДАЧЕ КОРМОВ КРС

В статье приведены теоретические и экспериментальные исследования процесса пневмоактивации слоя стебельчатых кормовых материалов, определены параметры воздушного потока для пневмоактивации кормовых материалов при отделении механических примесей.

Ключевые слова: процесс, пневмоактивация, стебельчатый корм, слой корма, влажность, связность, коэффициент, приготовление корма, воздушный поток, струя воздуха, солома, кормосмеси, качество кормов, частица, механические примеси, критическая скорость.

Y. A. Bashko¹, V. N. Ketsko², I. R. Yusifov³

¹RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: npc_mol@mail.ru

²EE «Belarusian State Agrarian Technical University»

Minsk, Republic of Belarus

³LLC «Zeltavet»

Minsk, Republic of Belarus

RESEARCH THE PROCESS OF PNEUMATIC ACTIVATION OF THE STABLE FEED LAYER FOR SEPARATION OF MECHANICAL IMPURITIES AT PREPARING AND FEEDING OF CATTLE

The article presents theoretical and experimental studies of the process of pneumatic activation of a layer of stalked feed materials, and the parameters of the air flow for pneumatic activation of feed materials in the separation of mechanical impurities are determined.

Keywords: process, pneumatic activation, stalked feed, feed layer, moisture, connectivity, coefficient, feed preparation, air flow, air stream, straw, feed mix, feed quality, particle, mechanical impurities, critical speed.

Введение

Исследования зоотехнической науки и практика функционирования животноводческих ферм свидетельствуют о том, что недоброкачественные, загрязненные корма служат непосредственной причиной многих незаразных заболеваний [1].

Согласно статистическим данным, полученным ветеринарами, основной экономический ущерб нашему животноводству причиняют незаразные болезни, причем значительная доля (50–70 %) приходится на болезни кормового происхождения, в основном кормовой травматизм [2], при этом наибольшую опасность для КРС представляют неметаллические (органические) и металлические примеси размером до 50 мм.

Принимая во внимание, что кормление КРС в хозяйствах республики базируется на использовании полнораціонных кормосмесей, основу которых составляют стебельчатые корма собственного производства, отделение механических примесей от стебельчатых кормов и кормосмесей является актуальной задачей.

Основная часть

Отделение механических примесей от кормовых смесей на основе стебельчатых кормов определяется связями, которые возникают между примесями и соломинами (стеблями), а также между самими соломинами в перемещаемом слое кормового материала. Причем связи между соломинами являются определяющими. По сути, они создают пространственную решетку, проще говоря – препятствие, которое должны преодолеть механические примеси при воздействии отделяющих устройств. Механическое воздействие отделяющих устройств не в полной мере осуществляет разрушение этих связей, поэтому представляется, что пневмоактивация, то есть приведение слоя в неустойчивое состояние воздушной струей, сопровождающееся насыщением слоя кормового материала воздухом и ослаблением связей, является эффективным процессом, соответствующим природе указанных решеток.

Струя воздуха, пронизывающая слой движущегося корма, испытывает со стороны последнего силы сопротивления, направленные против воздействия скорости воздуха. В зависимости от ориентации струи по отношению к силе тяжести, структурных свойств слоя и величины возмущающих сил последние могут изменять и разрушать состояние структуры слоя. Под воздействием воздушной струи слой корма разрыхляется, контакты между частицами нарушаются, и они в объеме расширяющегося слоя приходят в относительное движение.

Соломистые частицы стебельчатого корма и механические примеси имеют различные аэродинамические свойства. Частицы соломы, как правило, имеют большую длину, а плотность меньшую, чем примеси, поэтому более подвержены воздействию струи воздуха.

Струя воздуха, внедряясь в слой корма, производит следующие действия:

- преодолевает инерцию слоя корма;
- преодолевает связь между стеблями в слое и разрушает его;
- поддерживает слой в неустойчивом равновесном состоянии.

В связи с этим были проведены теоретические и экспериментальные исследования пневмоактивации стебельчатых кормовых материалов для отделения механических примесей.

В процессе теоретических исследований установлено, что под воздействием воздушной струи слой корма разрыхляется, контакты *между* частицами нарушаются, и они в объеме расширившегося слоя приходят в относительное движение [3, 4, 5].

Силы, действующие на частицу в слое корма, показаны на рисунке 1.

Для равновесия необходимо, чтобы моменты сил, действующих на элементарный объем кормов, относительно центра струи были уравновешенными [4]:

$$(dF - dJ - dG) \cdot R_{\partial h} - dT \cdot h = 0, \quad (1)$$

где dF – сила, вызываемая динамическим давлением струи, H ; dJ – сила инерции, H ; dG – сила тяжести элементарного слоя частиц в объеме, H ; dT – сила связи частиц в объеме материала, H ; $R_{\partial h}$ – эквивалентный радиус поперечного сечения струи на высоте h (плечо расположения элементарного объема относительно оси струи), m ; h – высота рассматриваемого сечения слоя частиц над устьем сопла, m .

Полагая, что $dT = K_c \cdot dG$ и $dG = dJ$, получаем:

$$dF \cdot R_{\partial h} = 2dG \cdot R_{\partial h} + K_c \cdot dG \cdot h, \quad (2)$$

где K_c – коэффициент связности частиц.

Для струи на высоте h радиус (относительный) [5]:

$$R_{\partial h} = 0.22 \cdot (\bar{h} - \bar{h}_0) = \frac{R_{\partial 0}}{R_s}, \quad m; \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \theta = 0,22,$$

где θ – угол раскрытия струи, $град.$; R_s – эквивалентный радиус отверстия истечения, m .

Эквивалентный радиус определяется уравнением [5]:

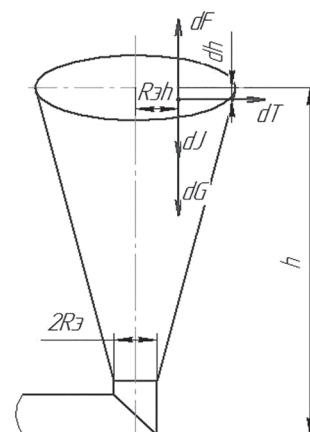


Рисунок 1. – Схема сил, действующих на частицу в слое материала

$$R_3 = 0,565\sqrt{F_{nl}}, \text{ м}, \quad (4)$$

где F_{nl} – площадь отверстия истечения, м^2 .

Для равномерного потока воздуха коэффициент количества движения в начале струи $\beta_0 = 1$, а \bar{h}_0 принимается равным нулю [5]. Тогда

$$\frac{R_{3h}}{R_3} = 0,22\bar{h} = \frac{0,22h}{R_3}. \quad (5)$$

Тогда уравнение моментов будет:

$$0,22h \cdot dF = 0,22h \cdot 2dG + K_c \cdot h \cdot dG, \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (6)$$

Откуда

$$dF = \left(\frac{0,44 + K_c}{0,22} \right) \cdot dG. \quad (7)$$

С другой стороны [4]:

$$dF = dP \cdot dS,$$

где dP – динамическое давление воздуха, Па ; dS – площадь основания элементарного объема материала, м^2 .

Динамическое давление

$$P_h = \frac{\rho_g \cdot v_h^2}{2}, \text{ Па}, \quad (8)$$

где ρ_g – плотность воздуха ($\rho_g = 1,2 \text{ кг/м}^3$); v_h – скорость воздуха в сечении на высоте h , м/с .

Относительная средняя по расходу скорость на высоте h [5]

$$\bar{v}_h = \frac{v_h}{v_0} = \frac{6,45\sqrt{\beta_0}}{h - \bar{h}_0}, \text{ м/с}. \quad (9)$$

Но так как для таких струй $\beta_0=1$, а $\bar{h}=0$, то

$$\frac{v_h}{v_0} = \frac{6,45}{\bar{h}_0}. \quad (10)$$

Тогда динамическое давление на высоте

$$\frac{dP_h}{dh} = -\frac{6,45^2 R_3^2 \cdot v_0^2 \cdot \rho_g}{h^3}, \text{ Па}. \quad (11)$$

Знак (–) здесь означает, что с увеличением h давление уменьшается.

$$dP_h = -6,45^2 \rho_g \frac{R_3^2 \cdot v_0^2}{h^3} dh, \quad (12)$$

где dP_h – динамическое давление на высоте h , Па ; dh – высота слоя, м ; ρ_g – плотность воздуха ($\rho_g = 1,2 \text{ кг/м}^3$); R_3 – эквивалентный радиус, м ; h – высота, м ; v_h – скорость воздуха в сечении на высоте h , м/с .

Площадь сечения струи и на высоте h

$$S_h = \pi \cdot R_{3h}^2 = \pi \cdot (0,22h)^2,$$

отсюда

$$dS_h = 2 \cdot 0,22^2 \cdot \pi \cdot h dh. \quad (13)$$

Действующая в элементарном объеме сила веса

$$dG = \rho_c \cdot g \cdot d \cdot S_h dh, \quad (14)$$

где ρ_c – плотность массы в объеме, кг/м^3 .

В итоге уравнение моментов запишется:

$$0,22 \cdot 6,45^2 \frac{\rho_c \cdot R_3^2 \cdot v_0^2}{h^2} dh = (0,44 + K_c) \rho_c \cdot g \cdot h dh. \quad (15)$$

Динамическое приращение h высоты слоя при воздействии воздушной струи, обладающей начальной скоростью v_0 , будет определяться выражением:

$$h = \sqrt{\frac{18,3\rho_c R_s^2 v_0^2}{(0,44 + K_c)\rho_c g}}, \text{ м.} \quad (16)$$

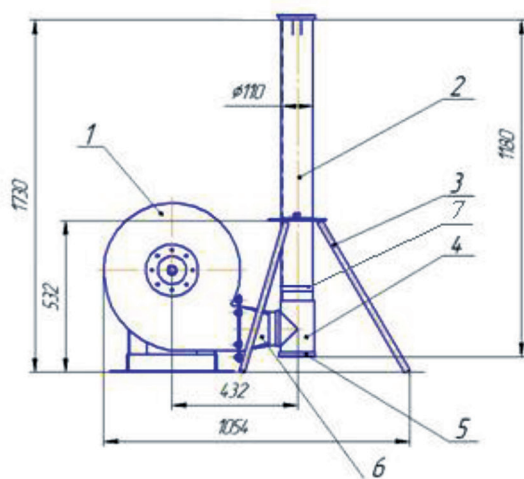
Формула (16) позволяет при заданной технологически необходимой высоте слоя определить эквивалентный радиус сопла и изначальную скорость струи, и наоборот, при постоянном радиусе сопла определить динамическое приращение высоты (толщины) разрыхляемого слоя, которая для разных видов кормов различна.

Кроме того, исследования показали, что обобщающим фактором состояния обрабатываемого потоком воздуха объема корма является связность частиц. Оценку связности принято определять коэффициентом связности (K_c). Применительно к процессу пневмоактивации его в первом приближении можно будет определять как отношение потенциальной энергии слоя корма к энергии воздушной струи, приводящей последний в критическое состояние. Полагая, что аэродинамическая сила, разрушающая объем корма, пропорциональна сумме сил веса и сцепления частиц, коэффициент связности следует определять по формуле:

$$K_c = \frac{2\rho_c H_c g}{\rho_B v_{KP}^2}, \quad (17)$$

где K_c – коэффициент связности частиц в объеме материала; ρ_c – плотность объема корма, кг/м^3 ; H_c – высота слоя материала, м ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; ρ_B – плотность воздуха, ($\rho_B = 1,2 \text{ кг/м}^3$); v_{KP} – средняя критическая скорость воздуха, при которой происходит разрушение объема корма, м/с .

С учетом рассмотренных выше результатов проведены экспериментальные исследования по определению воздействия воздушной струи на кормовой материал, определению скорости струи, необходимой для разрыхления кормовой массы в зависимости от высоты и плотности слоя, размера частиц и влажности кормов. Исследования проводились на экспериментальной установке, показанной на рисунке 2. В качестве исходного материала при проведении исследований процесса пневмоактивации применялась солома кормовая (ячменная).



1 – вентилятор; 2 – труба; 3 – опора; 4 – тройник; 5 – заглушка; 6 – переходник; 7 – вкладыш

Рисунок 2. – Общий вид экспериментальной установки

Исследования показали, что процесс воздействия воздушной струи на свободный слой стебельчатых кормов можно разделить на следующие фазы (соответственно, разделяются и скорости):

– начальная. Объемистый слой материала неподвижен, воздух движется в объеме между частицами в пространстве этого слоя, вынос частиц отсутствует;

- критическая. Воздушная струя, перераспределяя элементы грубых частиц, меняет структурную решетку объема материала, при этом перераспределяются более легкие и грубые частицы;
- закритическая. В зоне активного действия воздушной струи происходит выдувание порций частиц из разрыхленного слоя и образование слоев из приблизительно равных частиц.

При первой фазе высота слоя остается неизменной, равной, соответственно, начальной высоте слоя.

Во второй фазе каждому значению скорости соответствует определенная высота разрыхленного слоя. Именно эта фаза является рабочей.

В результате исследований установлено, что в процессе пневмоактивации существенное влияние на разрушение анизотропных связей, которые возникают между самими частицами в перемещаемом слое корма, оказывают физико-механические свойства и состояние корма.

Так, увеличение влажности соломы кормовой приводит к слипанию частиц, стеблей и усилению связей между частицами в объеме. При этом ухудшается относительное перемещение частиц.

Изменение влажности частиц объема соломы кормовой с 20 % до 45 % требует увеличения критической скорости потока воздуха с 8 м/с до 16...18 м/с при высоте слоя 0,2 м и с 14 м/с до 25...26 м/с при высоте слоя 0,5 м. Зависимости критической скорости от влажности соломы при различной высоте слоя приведены на рисунке 3.

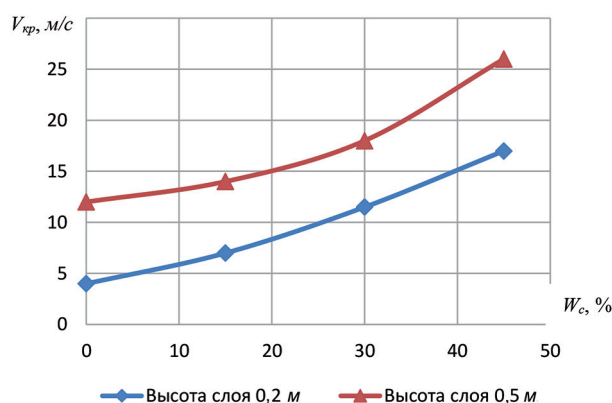


Рисунок 3. – Зависимость критической скорости потока воздуха от влажности соломы кормовой при различной высоте слоя материала

При этом при влажности частиц объема соломы кормовой 30 % и средневзвешенной длине частиц 50 мм критическая скорость потока воздуха составляет около 25 м/с, при средневзвешенной длине частиц 150 мм критическая скорость потока воздуха составляет около 45 м/с, а при длине частиц 250 мм критическая скорость потока воздуха составляет 60 м/с и более. Эти данные говорят о том, что наряду с высотой слоя, влажностью и плотностью корма существенное влияние на процесс разрушения связей оказывает длина частиц корма в объеме (рисунок 4).

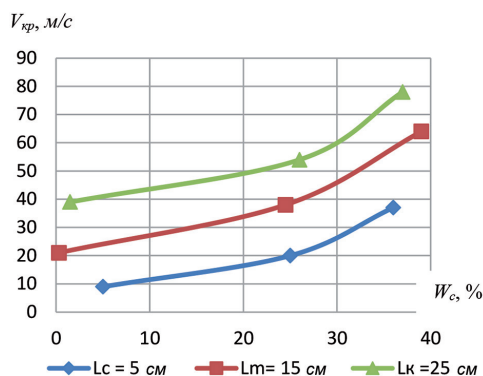


Рисунок 4. – Зависимость критической скорости потока воздуха от влажности измельченного объема при различной (степени измельчения соломы) длине частиц, на которые воздействует воздушный поток

Кроме того, при воздействии на объем частиц воздушного потока, имеющего различную критическую скорость, наблюдается изменение плотности массы в объеме (результаты приведены на рисунке 5).

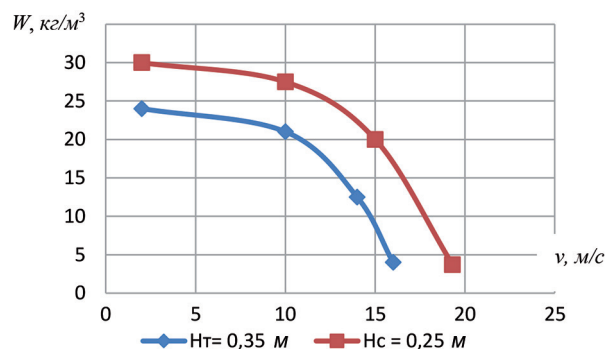


Рисунок 5. – Изменение плотности слоя массы в зависимости от скорости потока воздуха при различной высоте слоя материала (солома ячменная, $W_c = 28...30$ %)

В результате этих исследований можно полагать, что обобщающим фактором состояния обрабатываемого объема является связность частиц, зависящая от их длины, влажности, плотности и высоты слоя корма. Данные экспериментального определения связности приведены на рисунке 6 оценкой влияния указанных выше факторов на величину коэффициента связности K_c .

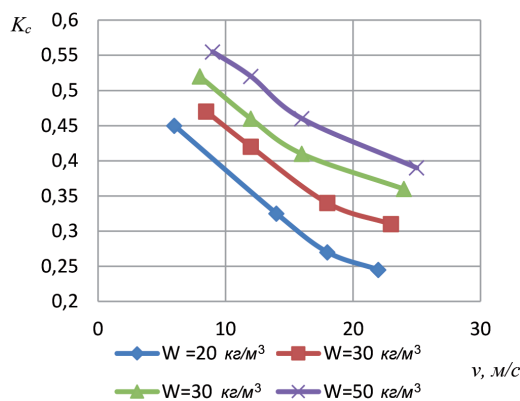


Рисунок 6. – Коэффициент связности частиц (K_c) при различной плотности слоя массы измельченной соломы и скорости воздуха

Как видим, значения K_c нестабильны (0,25...0,54) (рисунок 6). Однако здесь прослеживаются характерные закономерности:

- при постоянной плотности с увеличением высоты слоя K_c уменьшается;
- при постоянной высоте слоя с повышением плотности K_c увеличивается;
- при постоянной плотности с увеличением скорости воздуха K_c уменьшается.

Заключение

Приведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что процесс пневмоактивации оказывает существенное влияние на разрушение анизотропных связей, которые возникают между самими частицами в перемещаемом слое корма. Разрыхление пространственной решетки между частицами корма следует осуществлять, прежде всего, путем понижения плотности частиц в объеме за счет увеличения высоты занимаемого ими объема, то есть более интенсивным насыщением этого пространства частицами воздуха. Это способствует выделению из слоя корма более плотных по составу механических примесей. При этом скорость воздушной струи, необходимой для разрыхления слоя соломы кормовой, составляет от 25 до 45 м/с, в зависимости от высоты и плотности слоя, размера частиц и влажности материала.

Литература

1. Санитарно-гигиенические требования к кормам и кормлению животных // АгроАрхив: сельскохозяйственные материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agro-archive.ru/tehnologicheskie-osnovy/734-sanitarno-gigienicheskie-trebovaniya-k-kormam-i-kormleniyu-zhivotnyh.html>. – Дата доступа: 09.11.2016.
2. Санитарно-гигиенические требования к кормам и кормлению животных // Зооинженерный факультет МСХА [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <http://www.activestudy.info/sanitarno-gigienicheskie-trebovaniya-k-kormam-i-kormleniyu-zhivotnyh>. – Дата доступа 08.11.2016.
3. Бублик, С. П. Определение основных параметров процесса сепарации грубого вороха / С. П. Бублик // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1963. – № 2. – С. 15–17.
4. Соболев, А. А. Движение частиц в воздушном потоке / А. А. Соболев, Н. А. Мельников, Л. О. Тютюнник // Вектор науки ТГУ. – 2011. – № 3 (17). – С. 82–86.
5. Юсифов, И. Р. Интенсификация выделения зерна соломотрясом комбайна путем разрыхления вороха воздушными струями: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / И. Р. Юсифов. – Горки, 1991. – 16 с.