

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИСТОСТЕБЕЛЬЧАТОЙ МАССЫ ИЗМЕНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ НА ШТИФТОВЫХ БАРАБАНАХ

Д. Н. Лысенко, мл. науч. сотр. (ННЦ «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства» НААН Украины, г. Запорожье)

Аннотация

Приведены результаты теоретических исследований процесса воздействия штифтов фракционирующих барабанов на слой сухой листостебельчатой массы. Обоснованы технические параметры установки для фракционирования.

The results of theoretical investigations of the impact pins fractionation drums on the dry layer weight are given. Engineering parameters of fractionation are proved.

Введение

Проблема кормового белка была и остается основной при организации полноценного кормления сельскохозяйственных животных. Ежегодно в кормовом балансе Украины дефицит протеина составляет до 30 %, недобор продукции животноводства достигает 20-35 %, а себестоимость и затраты кормов увеличиваются в 1,5 раза. В связи с этим национальным проектом «Відроджене скотарство» заплановано к 2015 году довести производство белково-витаминно-минеральных добавок – до 1,18 млн. т [1]. Одним из потенциальных источников органического белка и витаминов является растительное сырье – это сено бобовых культур, таких как люцерна, клевер и др.

Однако такое сырье неоднородно по содержанию белка. В стеблях растений белка значительно меньше, а клетчатки больше, а в листьях, наоборот. Поэтому есть смысл отделять листовую фракцию. Для извлечения высокопитательной составляющей необходимо проведение теоритических исследований изменением параметров слоя листостебельчатой массы на барабанах в процессе фракционирования.

Основная часть

Рассмотрим процесс воздействия штифтов фракционирующих барабанов на слой сухой листостебельчатой массы, приняв следующие условия:

а) масса, которая контактирует со штифтом, полностью разделяет его движение в вертикальном направлении;

б) при действии штифта слой мгновенно приобретает его скорость;

в) воздух не влияет на движение слоя массы [2, 3].

Штифты барабанов осуществляют круговое движение, описывают окружность радиусом R . Направим ось ординат вверх, а ось абсцисс – горизонтально по направлению движения слоя массы по барабанам. Угол поворота барабана будем отсчитывать от вертикальной оси ординат в направлении

вращения по часовой стрелке (рис. 1).

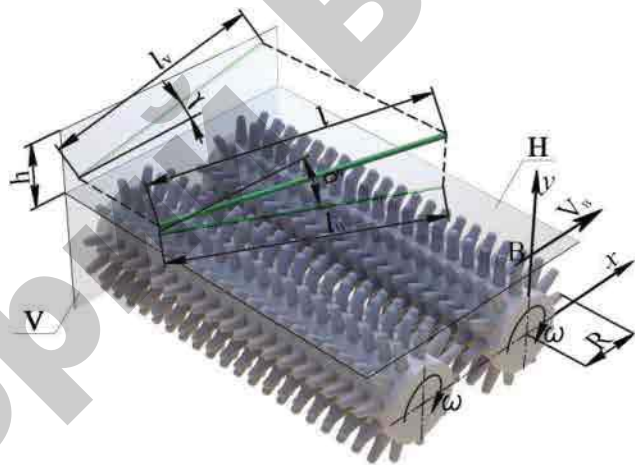


Рисунок 1. Кинематическая схема одноплоскостного размещения фракционирующих барабанов с определением величины проекции стебля на вертикальную (V) и горизонтальную (H) плоскости

При работе установки исходная листостебельчатая масса (сено люцерны) поступает на фракционирующие барабаны с произвольным расположением стеблей, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. При этом проекция отрезка длиной l_v (т. е. стебля длиной l), расположенного на неограниченной вертикальной плоскости V в случайном положении с равнозначными направлениями) относительно любой из вертикальных плоскостей V по теории вероятности находится из выражения [4]

$$l_v = l \int_0^{\delta_0} |\cos \delta| f(\delta) d\delta, \quad (1)$$

где δ – угол между проекцией стебля и плоскостью, рад.;

$f(\delta)$ – закон распределения плотности случайной величины, $f(\delta) = 1/\pi$;

l – длина стебля, м.

Таким образом, имеем:

$$l_v = \frac{2 \cdot l}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} |\cos \delta| d\delta = \frac{2}{\pi} l. \quad (2)$$

Рассмотрев положение стебля длиной l в вертикальной плоскости, т. е. в слое листостебельчатой массы толщиной h , расположенного на фракционирующих барабанах, видим, что при определении проекции стебля на горизонтальную плоскость H плотность распределения случайной величины определяется зависимостью

$$f(\gamma) = \frac{l}{\arcsin\left(\frac{h}{l}\right)},$$

тогда получим

$$l_H = \frac{l}{\arcsin\left(\frac{h}{l}\right)} \int_0^{\arcsin(h/l)} |\cos \gamma| d\gamma = \frac{l}{\arcsin\left(\frac{h}{l}\right)} \quad (3)$$

Сама проекция стебля длиной l по направлению перемещения слоя массы на фракционирующих барабанах будет определяться зависимостью

$$l_x = l \cdot \cos \gamma \cdot \cos \delta,$$

где γ , δ – углы между стеблем и соответственно вертикальной и горизонтальной плоскостями, рад.

Согласно выражениям (2) и (3), значения направляющих косинусов положения стебля описываются зависимостями

$$\cos \gamma = \frac{2}{\pi} \text{ и } \cos \delta = \frac{h}{l \cdot \arcsin\left(\frac{h}{l}\right)}. \quad (4)$$

Исходя из условия смещения установленных рядом штифтов барабанов на половину угла их расстановки по окружности, скорости горизонтального перемещения массы этими барабанами представлены выражениями [5]

$$V_{By} = -\omega R \sin(\omega t + \alpha), \quad a_{By} = -\omega^2 R \cos(\omega t + \alpha), \quad (5)$$

где α – угол установки штифтов по окружности барабана, $\alpha = 2\pi/z$, рад;

z – количество штифтов по окружности барабана.

Действие штифтов фракционирующих барабанов на проходящий по ним слой листостебельчатой массы вызывает ее деформацию, т. е. изменение плотности, которое в зависимости от давления штифтов описывается уравнением [6]

$$p = C \left[e^{a(\rho - \rho_0)} - 1 \right], \quad (6)$$

где p – давление на слой листостебельчатой массы, Па;

ρ , ρ_0 – соответственно конечная и исходная плотность слоя, кг/м³;

C , a – эмпирические коэффициенты, для сена

люцерны влажностью 16 % соответственно равны $C = 3,32 \cdot 10^{-5}$ Па и $a = 4610$ м³/кг.

Вертикальное усилие действия штифтов фракционирующих барабанов на слой листостебельчатой массы на основании выражения (5) описывается зависимостью

$$P_y = m\omega^2 R \cos \omega t,$$

где m – масса участка слоя листостебельчатой массы, приходящаяся на один фракционирующий барабан, $m = \rho_0 L_c B h$, кг;

L_c – длина участка слоя стеблей листостебельчатой массы, приходящаяся на один барабан.

Величина давления ряда штифтов фракционирующего барабана на слой листостебельчатой массы, при условии равновероятного распределения стеблей длиной l в горизонтальной плоскости составляет

$$p = \frac{\pi \rho_0 L_c h \omega^2 R \cos \omega t}{2l}. \quad (7)$$

Приравнявая выражения (6) и (7) получаем зависимость изменения плотности слоя листостебельчатой массы на фракционирующих барабанах

$$p = \frac{\ln\left(\frac{\pi \rho_0 L_c h \omega^2 R \cos \omega t}{2Cl} + 1\right)}{a} + \rho_0.$$

Таким образом, плотность слоя листостебельчатой массы на фракционирующих барабанах под действием штифтов колеблется от ρ до ρ_0 .

При этом толщина слоя листостебельчатой массы изменяется на величину $\Delta h = h(\rho/\rho_0 - 1)$.

Соответственно положение центра тяжести слоя массы описывается зависимостью

$$y_c = R \cos \omega t - \frac{h}{2} \left(\frac{\rho}{\rho_0} + 1 \right).$$

Цикличность воздействия штифтов на листостебельчатую массу объясняется слабым взаимосцеплением ее элементов в вертикальном направлении и преимущественной ориентацией в плоскости, близкой к горизонтальной, о чем свидетельствует выражение (4).

Слой листостебельчатой массы на очистных барабанах состоит из стеблей с листьями, переплетенных между собой. Вертикальная элементарная сила dN действия одного элемента на другой описывается выражением

$$dN = g \cdot dm,$$

где dm – элементарная масса, кг.

Так как масса листостебельчатого слоя с площадью в плане, равной S , и высотой h выражена зависимостью: $m = \rho S h$, получаем действие веса слоя листостебельчатой массы на ее нижнюю часть

$$N = g \rho S h.$$

Принимая силу взаимного сцепления элементов

листочестельчатой массы в пределах варьирования высоты слоя на барабанах постоянной, запишем ее в виде

$$F_{зч} = c \cdot S,$$

где c – коэффициент пропорциональности, кг/(м²·с²).

Таким образом, наибольшее значение взаимного сцепления равно

$$P_{зч} = S(c + g\rho h).$$

Как показывают исследования [7], это уравнение аппроксимируется зависимостью, максимальная величина которой для слоя листочестельчатой массы, расположенной горизонтально, представляется выражением

$$P_{\max} = k_2 \rho h, \quad (8)$$

где k_2 – экспериментальный коэффициент пропорциональности, который для сена влажностью 15-20 % составляет $k_2 = 0,6-0,9 \text{ м}^3/\text{с}^2$.

Исходя из уравнения (8) для обеспечения рыхления штифтами фракционирующих барабанов слоя листочестельчатой массы, расположенного под углом к горизонту, равным δ (4), должно выполняться условие

$$m\omega^2 R \cos\left(\frac{\pi}{z}\right) \geq k_2 \rho l \arcsin\left(\frac{h}{l}\right).$$

Учитывая, что для прохода отделяемой листовой фракции вниз через слой листочестельчатой массы и барабаны должно выполняться условие $\omega^2 R < g$, окончательно имеем параметрическое неравенство:

$$g > R \cos\left(\frac{\pi}{z}\right) \geq \frac{k_2 l}{LBh} \arcsin\left(\frac{h}{l}\right). \quad (9)$$

Неравенство (9) объединяет практически все основные параметры установки для фракционирования – радиус очистных барабанов R , их длину B , количество штифтов по окружности барабана z , угловую скорость вращения и расстояние между барабанами L , а также толщину слоя листочестельчатой массы на барабанах h , длину стеблей l и механическую характеристику слоя массы k_2 .

При определении оптимальных параметров установки для фракционирования сухой листочестельчатой массы выполнены экспериментальные исследования и получены уравнения регрессии и функции отклика [8-9], определены режимы работы установки.

Из результатов экспериментальных исследований получили, что максимальная производительность фракционирования, представленная в кормовых единицах составляет 0,346 к. ед/с при частоте вращения очистных барабанов – 100 об/мин, толщине слоя массы на очистных барабанах – 75 мм и кинематическом режиме выходного барабана – 1,25 [10].

Заключение

Полученные в результате теоретических исследований математические выражения описывают все основные конструктивные параметры установки для

фракционирования.

Изменение толщины слоя листочестельчатой массы во время действия на него штифтов фракционирующих барабанов, происходящее с периодом $2\pi/\omega z$, вызывает взаимное перемещение стеблей в слое массы, которое в сочетании с колебанием всего слоя и его разрыхлением в этот же период приводит к отделению листовой фракции и просыпанию ее вниз через слой листочестельчатой массы с последующим выводом из установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Національний проект «Відроджене скотарство» / Міністерство аграрної політики та продовольства України, Національна академія аграрних наук України. – К.: ДІА, 2011. – 44 с.
2. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / [Б. Г. Турбин и др.]; под общ. ред. Б. Г. Турбина. – 2-е изд. – Л.: Машиностроение, 1967. – 583 с.
3. Пустыгин, М. А. Теория и технологический расчет молотильных устройств / М. А. Пустыгин. – М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1948. – 96 с.
4. Турчин, В. М. Теорія ймовірностей. Основні поняття, приклади, задачі. / В. М. Турчин. – К.: А.С.К., 2004. – 208 с.
5. Лисенко, Д. М. Результати дослідження взаємодії сепараційних барабанів установки для фракціонування сухої листочестелькової маси / Д. М. Лисенко, О. В. Кисельов // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Інститут механізації тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2011. – Вип. 2(8). – С. 225–234.
6. Особов, В. И. Сеноуборочные машины и комплексы / В. И. Особов, Г. К. Васильев. – М.: Машиностроение, 1983. – 304 с.
7. Ковалев, Н. Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) / Н. Г. Ковалев, Г. А. Хайлнс, М. М. Ковалев // Аграрная наука, 1998. – 208 с.
8. Лисенко, Д.М. Якісні показники роботи установки для фракціонування сухих стеблових кормів / Д.М. Лисенко // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного ун-ту. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012, вип. 1. – С. 117-124.
9. Лисенко, Д.М. Кількісні показники роботи барабанного фракціонера сухої листочестелькової маси / Д.М. Лисенко // Збірник наукових праць / Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. – Запоріжжя: ІМТ НААН, 2012. – Вип. 1. – С. 187-194.
10. Лисенко, Д.М. Дослідження модернізованої установки для фракціонування сухих стеблових кормів / Д.М. Лисенко // Аграрна наука та практика на сучасному етапі розвитку: досвід, проблеми та шляхи їх вирішення: мат. Міжнар. науково-практич. конф., Львів, 16-17 березня 2012 г. / Львів: Львівська аграрна фундація, 2012. – С. 17-19.