

УДК 66.028.2:636.085.54:65.011.46

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТЕЧЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В РЕШЕТЧАТОМ ДОЗАТОРЕ**Русалев А.М., канд. техн наук, доцент,
Бойко И.Г., канд. техн наук, профессор***(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко)*

Приведены результаты теоретических исследований истечения сыпучего материала в решетчатом дозаторе, определена зависимость производительности дозатора от диаметра отверстий и амплитуды колебаний решет, определена максимально допустимая частота колебаний решет и выполнен анализ полученных математических зависимостей.

Постановка проблемы. Современная технология ведения животноводства выдвигает новые задачи по совершенствованию существующих и разработке новых способов приготовления кормовых смесей для животных, способствующих снижению потерь питательных веществ и повышению их качества. Одним из основных путей повышения продуктивности, увеличения производства продукции и снижение ее себестоимости является полноценное кормление животных.

Для решения вопроса полноценного кормления сельскохозяйственных животных должен быть создан ряд взаимосвязанных технологических операций и машин, которые обеспечат строгое соблюдение соотношения компонентов рациона и равномерное их смешивание. В этой связи процесс дозирования компонентов играет основную роль как фактор, от выполнения которого зависит качество конечного продукта и его себестоимость.

Анализ последних исследований и публикаций.

Учитывая опыт ранее выполненных исследований [1,2] процесс обогащения концентрированных кормов целесообразно выполнять в непрерывном технологическом режиме, обеспечив при этом дозированную разреженную их подачу, что создаст условия равномерного перераспределения концентрированных кормов и кормовых добавок.

Анализом исследований технологического процесса дозирования концентрированных кормов дозаторами различных типов установлено, что технические вопросы дозирования с одновременным разрежением дозируемых материалов мало изучены и требуют дальнейшей разработки.

В Харьковском национальном техническом университете сельского хозяйства имени Петра Василенко разработан агрегат для обогащения комбикормов [3], в конструкцию которого входят также центробежный смеситель сыпучих кормов [4] и решетный дозатор [5].

Цель исследования. Целью исследования является теоретическое исследование истечения сыпучего материала в решетчатом дозаторе, определение зависимостей производительности дозатора от диаметра отверстий и амплитуды колебаний решет, определение максимально допустимой частоты колебаний решет и анализ полученных математических зависимостей.

Результаты исследований. Решетчатый дозатор сыпучих материалов состоит из дозирующего устройства, над которым расположен наддозаторный бункер. Дозирующее устройство выполнено в виде двух решет диаметра D_1 (рис.1).

Решета, расположенные горизонтально друг над другом на небольшом расстоянии между собой, имеют отверстия, которые располагаются по его периметру в полосе, шириной t_p . Верхние и нижние отверстия имеют различные диаметры d_1 и d_2 ($d_1 > d_2$), соответственно.

Эти отверстия в начальный момент времени могут либо находиться на одной оси, как это изображено на рис.2, либо быть смещенными.

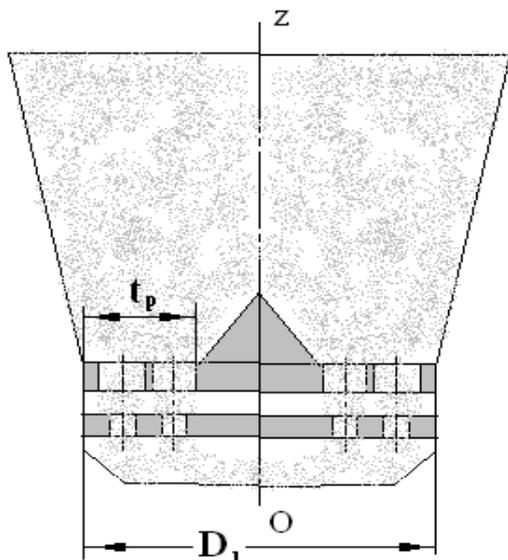


Рисунок 1 - Технологическая схема решетчатого дозатора

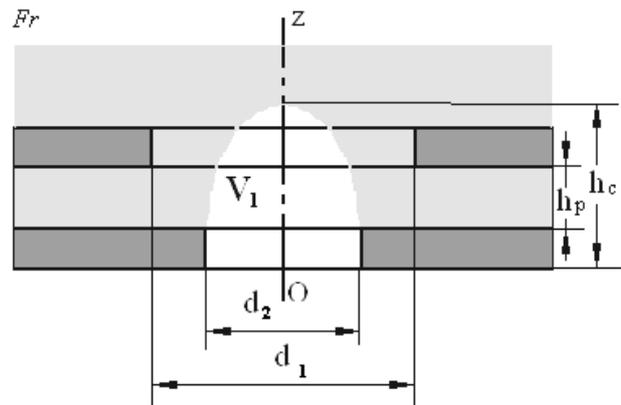


Рисунок 2 - Расчетная схема решетчатого дозирующего устройства

Наличие выпускного отверстия в днище бункера приводит к тому, что в объеме среды, прилежащем к этому отверстию возникают растягивающие напряжения. Вследствие этого происходит высыпание сыпучего материала из отверстия. Известно что, если диаметр отверстия больше критического значения, то истечение материала будет происходить непрерывным образом. В случае, если диаметр отверстия меньше критического, то через отверстие высыпется некоторое количество материала и над отверстием образуется свод, препятствующий дальнейшему истечению. Как показывают эксперименты, поверхность образующегося свода в случае круглого отверстия близка к параболоиду вращения, вершина которого лежит на оси отверстия, а основание

совпадает с отверстием (рис.2). Высота свода h_c и диаметр его основания d_c не являются независимыми параметрами. Они связаны соотношением

$$h_c = A e^{b \cdot d_c}, \quad (1)$$

где A, b – эмпирические коэффициенты, учитывающие механико-технологические свойства сыпучих кормов.

Образовавшийся свод представляет собой устойчивую структуру, поэтому для дальнейшего истечения материала через отверстие необходимо разрушить свод.

Предлагаемое устройство работает на следующем принципе. Отверстия верхнего решета имеют диаметры большие критического значения. Поэтому через них сыпучий материал постоянно поступает в пространство между решётами. Отверстия нижнего решета имеют диаметры меньше критических размеров. Поэтому они могут пропустить через себя только тот объем среды, который соответствует образуемому над ними своду. Для дальнейшей работы дозатора предлагается механическим образом разрушить эти своды, заставляя верхнее и нижнее решета совершать вращательные колебания вокруг вертикальной оси дозатора в противофазе на некоторый угол φ_{\max} . Если высота свода будет больше расстояния между решетами $h_c > h_p$, то верхушка свода при совпадении осей отверстий будет располагаться в области верхнего отверстия. Это при смещении осей отверстий приведет к разрушению свода и заполнению объема разрушенного свода сыпучим материалом. При последующем совпадении осей отверстий произойдет новое сводообразование и истечению очередной порции сыпучего материала.

Физические законы, связывающие между собой величины, описывающие какое либо явление, должны быть инвариантными относительно выбора системы единиц, т.е. их математическое выражение не меняется при изменении системы единиц. Такое требование приводит к определенным ограничениям на математическое выражение физического закона.

Воспользуемся данной теоремой для определения объемного расхода Q_1 сыпучего материала за секунду через круглое отверстие нижнего решета. В качестве определяющих параметров выберем: $S_o = \pi d_2^2 / 4$ - площадь отверстия, n_p - число колебаний решет за секунду, $j = (2\pi n_p)^2 A$ - интенсивность вращательных колебаний решет (A - амплитуда относительного смещения точек внешней окружности нижнего решета) [7], g - ускорение свободного падения. В работе приводится полуэмпирическая формула для секундного объемного расхода Q_1 жидкости через отверстие:

$$Q_1 = \varphi S_o \sqrt{\frac{2p_0}{\rho}}, \quad (2)$$

где ρ - плотность сыпучего материала;

φ - эмпирический коэффициент;

p_0 - давление на входе в отверстие.

Учитывая то, что свод сдерживает вышележащие слои сыпучего материала, можно положить, что давление на входе в отверстие определяется давлением объема V_1 среды, лежащего под сводом над отверстием (рис.2). Будем считать среду однородной, давление по отверстию равномерно распределенным. Тогда p_0 равняется отношению веса объема V_1 к площади отверстия S_0 :

$$p_0 = \frac{\rho g V_1}{S_0}. \quad (3)$$

Уравнение свода в цилиндрической системе координат (r, φ, z) , ось Oz которой совпадает с осью отверстия, можно записать в виде

$$z = h_c \left[1 - \left(\frac{2r}{d_2} \right)^2 \right]. \quad (4)$$

Объем V_1 находится как интеграл

$$V_1 = \int_{V_1} dV = \pi \frac{d_2^2}{4} \int_0^{h_c} \left(1 - \frac{z}{h_c} \right) dz = \frac{\pi d_2^2 h_c}{8} = \frac{1}{2} S_0 h_c, \quad (5)$$

где h_c вычисляется по формуле (1).

Тогда

$$p_0 = \frac{1}{2} \rho g h_c, \quad (6)$$

а расход сыпучего материала, согласно формуле (2), будет равен

$$Q_1 = \varphi S_0 \sqrt{g h_c}. \quad (7)$$

Преобразуем полученное выражение и приведем его к виду:

$$\begin{aligned} Q_1 &= n_p S_0^{3/2} S_0^{-1/2} n_p^{-1} \varphi \sqrt{\frac{g}{S_0^{1/2} n_p^2} \frac{h_c}{S_0^{1/2}} S_0 n_p^2} = \\ &= n_p S_0^{3/2} \varphi \sqrt{Fr^{-1} \frac{h_c}{S_0^{1/2}}} = n_p S_0^{3/2} \varphi Fr^{-1/2} \sqrt{\frac{h_c}{S_0^{1/2}}} \end{aligned} \quad (8)$$

Обозначим через N_0 число отверстий решета. Тогда объемный расход сыпучего материала за секунду через решето, можно записать в виде

$$Q = N_0 n_p S_0^{3/2} \alpha \left[1 - \exp(-\beta Fr_e^{-1}) \right] Fr_e^{-1/2} \sqrt{\frac{h_c}{S_0^{1/2}}}, \quad (9)$$

содержащем h_c , определяемом соотношением (1), а также эмпирические константы α и β .

Для проведения вычислений выражение для Q преобразуем и окончательно получим следующее соотношение:

$$Q = N_0 \frac{\pi d_2^2}{4} \sqrt{gh_c} \alpha \left[1 - \exp\left(-\beta \frac{8\pi^{3/2} A}{d_2}\right) \right]. \quad (10)$$

При выше приведенных рассуждениях молчаливо предполагалось, что время истечения t_u объема V_1 через отверстие меньше полупериода $T = 1/2 n_p$ колебаний решет: $t_u \leq T$. Это приводит к определенным ограничениям на частоту колебаний решет n_p . Зная объемный расход Q_1 и вытекающий объем V_1 , найдем время истечения этого объема:

$$t_u = \frac{V_1}{Q_1},$$

которое с учетом соотношений (5) и (10) можно представить в виде

$$t_u = \sqrt{\frac{h_c}{g}} \frac{1}{2\alpha \left[1 - \exp\left(-\beta \frac{8\pi^{3/2} A}{d_2}\right) \right]}. \quad (11)$$

Отсюда следует неравенство, которому должна удовлетворять частота колебаний n_p :

$$n_p \leq n_p^* \quad (12)$$

$$n_p^* = \alpha \left[1 - \exp\left(-\beta \frac{8\pi^{3/2} A}{d_2}\right) \right] \sqrt{\frac{g}{h_c}}.$$

Результаты вычислений. Соотношения (10), (12) лежат в основе вычислений, проводимых для следующих значений параметров задачи: $D_1 = 0.3$ м – диаметр решет; $t_p = 0.05$ м – ширина активной зоны решета; $d_1 = 0.018$ м – диаметр отверстий верхнего решета; $n_p = 10,7$ с⁻¹ – частота колебаний решет; $\alpha = 1$ – эмпирический коэффициент; $N_0 = 90$ – число отверстий нижнего решета; $d_2 = 0.004 - 0.01$ м – пределы варьирования диаметров отверстий нижнего решета; $A = 0.002 - 0.01$ м – пределы варьирования амплитуды колебаний решет; $\beta = 0.075$ – эмпирический коэффициент.

Результаты вычислений представлены на рис. 3 – 5. На рис. 3 показана зависимость производительности дозатора от диаметра отверстий нижнего решета при различных амплитудах колебаний решет и 90 отверстий на нижнем решете. На рис. 4 наблюдается зависимость производительности Q от амплитуды колебаний A и диаметра отверстий d_2 нижнего решета, трехмерный график которой показан на рис. 5.

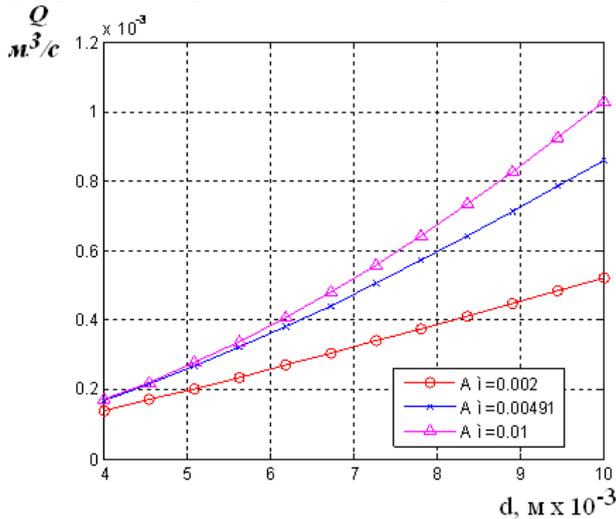


Рисунок 3 – Зависимость Q от d при $N_{\text{отв}} = 90$, $\alpha = 1$, $\beta = 0,075$.

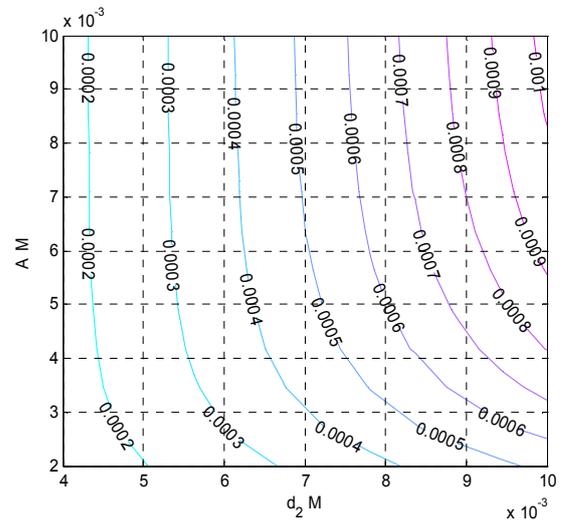


Рисунок 4 - Зависимость Q от A и d_2 при $N_{\text{отв}} = 90$, $\alpha = 1$, $\beta = 0,075$.

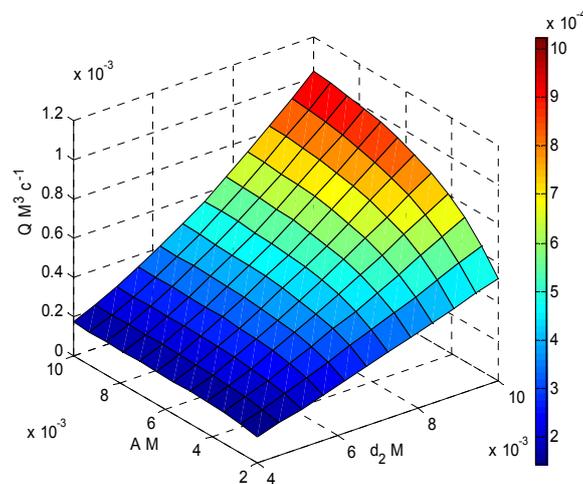


Рисунок 5 - Трехмерный график зависимости производительности Q от амплитуды колебаний A и диаметра отверстий d_2 нижнего решета.

Выводы

На основании приведенных графиков можно сделать следующие выводы:

- с увеличением диаметра отверстий нижнего решета d_2 увеличивается расход Q (естественный вывод);
- увеличение параметра A колебательных вращений решет также приводит к увеличению Q (показательным является рис.3);
- коэффициент β установлен эмпирическим путем и равен 0,075.

Список литературы

1. Бойко И.Г. Интенсификация процесса смешивания сыпучих кормов / Бойко И.Г. Науменко А.А. // Экология и сельскохозяйственная техника: Материалы 5-й международной научно-практической конференции – Санкт-Петербург, 2007. – Том 3. – С. 46-54.
2. Бойко І.Г. Аналіз конструкцій дозаторів сипучих кормів безперервної дії і основні напрямки їх удосконалення / Бойко І.Г., Скорик О.П., Русальов О.М., Щур Т.Г. // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ ім Петра Василенка. – Харків, 2004. – Вип. 29. – С. 347-350.
3. Пат. №37481, Україна, МПК А23N 17/00; G01F 11/00 Агрегат для збагачення комбікормів біологічно активними кормовими добавками / Бойко І.Г., Семенцов В.І., Щур Т.Г., Русальов О.М. – u200808932; заявл. 08.07.08; опубл. 25.11.08, Бюл №22.
4. Пат. 86538 Україна, МПК G01F 11/00. Відцентровий змішувач сипучих компонентів / Бойко І.Г., Русальов О.М. - №а 200801430; заявл. 04.02.2008; опубл. 27.04.2009, Бюл. №8. – 3 с.
5. Пат. 89003, Україна. МПК G01F 11/00 Решітчастий дозатор сипучих кормів: / І.Г.Бойко, О.М.Русальов, О.П.Скорик – а2008 13554; Заявл. 24.11.2008; Опубл. 10.12.2009, Бюл. №23. – 2 с.

Анотація

Теоретичне дослідження витікання сипкого матеріалу в решітному дозаторі

Русальов О.М., Бойко І.Г.

Приведені результати теоретичних досліджень закінчення сипкого матеріалу в ґратчастому дозаторі, визначена залежність продуктивності дозатора від діаметру отворів і амплітуди коливань решіт, визначена максимально допустима частота коливань решіт і виконаний аналіз отриманих математичних залежностей.

Abstract

Theoretical study expiration bulk material trellis Batcher

A. Rusaljov, I. Wojko

In work the mathematical model of expiration of friable material is developed in the latticed metering device, dependence of the productivity of metering device is certain on the diameter of openings of sieves and amplitude of vibrations of sieves, maximally possible frequency of vibrations of sieves is certain, the graphs of calculations are built.