

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ЗАГРУЗКИ, ХРАНЕНИЯ И ВЫГРУЗКИ КОМБИКОРМОВ

**Прусов Максим Владимирович**<sup>1</sup> старший преподаватель кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы»

**Курдюмов Владимир Иванович**<sup>2</sup>, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

**Павлушин Андрей Александрович**<sup>2</sup>, доктор технических наук, профессор кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО СамГУПС (Самарский государственный университет путей сообщения)

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

<sup>1</sup>443052 г. Самара ул. Заводское шоссе, д.18, ауд.9323 (9-й учебный корпус): тел. 89277102757; e-mail: mak-prusov@yandex.ru<sup>2</sup>

<sup>2</sup>432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, дом 1; тел.: 89050359200; e-mail: andrejpavlu@yandex.ru.

**Ключевые слова:** комбикорма, бункер, параметры, загрузка, хранение, выгрузка.

Рассмотрено устройство бункерного типа с управляемыми технологическими процессами загрузки, хранения и выгрузки сыпучих сельскохозяйственных материалов. Устройство может быть использовано для хранения готовых комбикормов и его компонентов на комбикормовых предприятиях, в свиноводческих хозяйствах и других хозяйствах, занятых животноводством. Решение поставленных задач достигается тем, что в бункере для сводообразующих сыпучих материалов, содержащем вертикальный корпус преимущественно прямоугольного поперечного сечения, разгрузочное устройство, расположенное внизу корпуса, и установленные внутри корпуса стабилизаторы давления, закрепленные на противоположных стенках корпуса со смещением вдоль его вертикальной оси, нижний из которых шарнирно закреплен на стенке корпуса и оснащен приводом для регулирования угла его расположения относительно стенки корпуса. Теоретически обоснованы основные конструктивные параметры устройства, такие как угол установки решет, количество решет в бункере; конструктивное расположение решет в полости бункера и минимальные размеры щели и перемычки в решетке. Выявлено, что для того, чтобы определить оптимальную ширину щели в решетке, необходимо выявить высоту слоя сыпучего груза, проходящего в щель элемента бункерного устройства и скорость сыпучего материала на второй перемычке. При этом для того, чтобы обеспечить оптимальную работу элемента (решета) устройства управления технологическим процессом загрузки, хранения и выгрузки, необходимо, чтобы загружаемый материал равномерно проходил по решетку, то есть необходимо, чтобы пропускная способность каждой щели устройства была одинаковой. Полученные уравнения позволяют определить минимальную ширину щели в зависимости от радиуса частицы, скорости падения материала на решетку, коэффициента трения, ширины перемычки решета.

### Введение

Потребление зерна и продукции комбикормовых предприятий носит постоянный характер в течение всего года, а производство – сезонный. Следовательно, в животноводческих предприятиях необходимо иметь запасы зерна

и зернопродуктов и хранить их до реализации [1 - 3].

Хранилища для сыпучих материалов являются жизненно важным звеном в цепи между производителями зернового сырья и его потребителями. Они служат для накопления и распре-

деления и отгрузки по различным транспортным каналам зерновых продуктов после уборки с полей. Для того, чтобы сыпучий материал отвечал всем необходимым требованиям по качеству, бункеры и силосы должны удовлетворять следующим условиям [4-7]:

- все операции по обработке материала (прием, сушка, очистка, отгрузка и т.п.) должны быть максимально механизированы и автоматизированы;
- обеспечение количественной и качественной сохранности материала при загрузке, хранении и выгрузке;
- соответствие санитарно-гигиеническим требованиям;
- надежно защищать зерно от воздействий окружающей среды, птиц и грызунов;
- емкости хранилищ должны иметь ровные поверхности и стыки, не допускающие появления щелей и трещин во избежание скапливания и загнивания в них хранящегося материала [8].

Следует отметить, что загрузка, хранение и выпуск сыпучих материалов сопряжены с определенными трудностями. Это обусловлено прежде всего наличием процессов слеживаемости, образования сводов и расслоения частиц по крупности, массе и т.д.

Таким образом, научные изыскания, направленные на повышение эффективности основных технологических процессов при эксплуатации зернохранилищ бункерного типа являются актуальными и важными.

#### Объекты и методы исследований

По итогам проведенного критического анализа [9 - 12] существующих способов загрузки сельскохозяйственных материалов нами предложена новая конструктивная схема бункера (рис. 1) с управляемыми технологическими процессами загрузки, хранения и выгрузки. Основным преимуществом предлагаемой конструкции является обеспечение эффективного функционирования хранилища независимо от срока хранения сыпучих материалов [13].

Преимущество предлагаемого бункерного устройства состоит в том, что в процессе выгрузки сыпучего материала используется сила гравитации. При этом минимизируются энергетические затраты, так как привод решёт включается только для установки элементов под определенным углом до загрузки бункера. Также достоинством предлагаемого бункера является то, что сыпучий материал в процессе выгрузки перемешивается. Это позволяет устранить такое

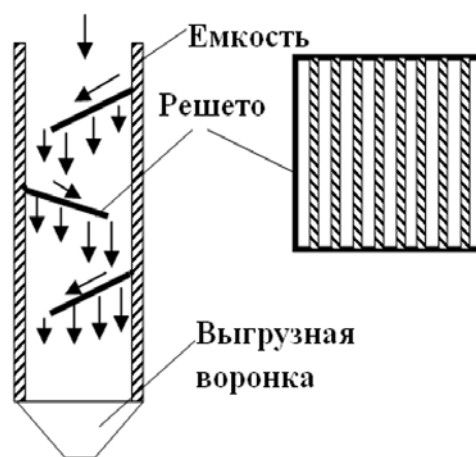


Рис. 1 - Бункер с устройством управления технологическими процессами загрузки, хранения и выгрузки

явление, как расслоение частиц по крупности, весу и т.д.

#### Результаты исследований

Сыпучий материал, состоящий из нескольких слоев высотой  $h_c$ , в каждом из которых движение груза отличается существенным образом, перемещается по решетке (рис. 2, а).

Каждая частица какого-либо слоя находится под воздействием нескольких сил: собственного веса, нормальных реакций со стороны смежных частиц в точках их соприкосновения и сил трения, возникающих в опорных точках [14].

Проследим за движением частиц первого слоя. Каждая частица проходит или сходит с решетки, в зависимости от того, какова будет скорость частицы и ширина щели решетки. Если скорость частицы велика, а ширина щели недостаточно большая, то частица будет скользить по решетке, пока не оторвется и не станет двигаться свободно [15 - 17]. Как только частица выходит из слоя, т.е. проходит сквозь решетку, то с поверхностью взаимодействует второй слой и т.д. Следовательно, каждый ряд частиц движется в сторону наклона решетки с определенной скоростью.

Рассмотрим, как изменяется скорость частицы материала на протяжении процесса загрузки. При истечении частиц из загрузочного бункера их скорость будет равна  $u$ . В тот момент, когда частица соприкоснется с решеткой, скорость её увеличится до

$$v_{\text{н}} = \sqrt{v^2 + 2 \cdot g \cdot H}, \quad (1)$$

где  $v_{\text{н}}$  - скорость частицы материала в момент соударения с решеткой, м/с;  $v$  - скорость истечения сыпучего материала из за-

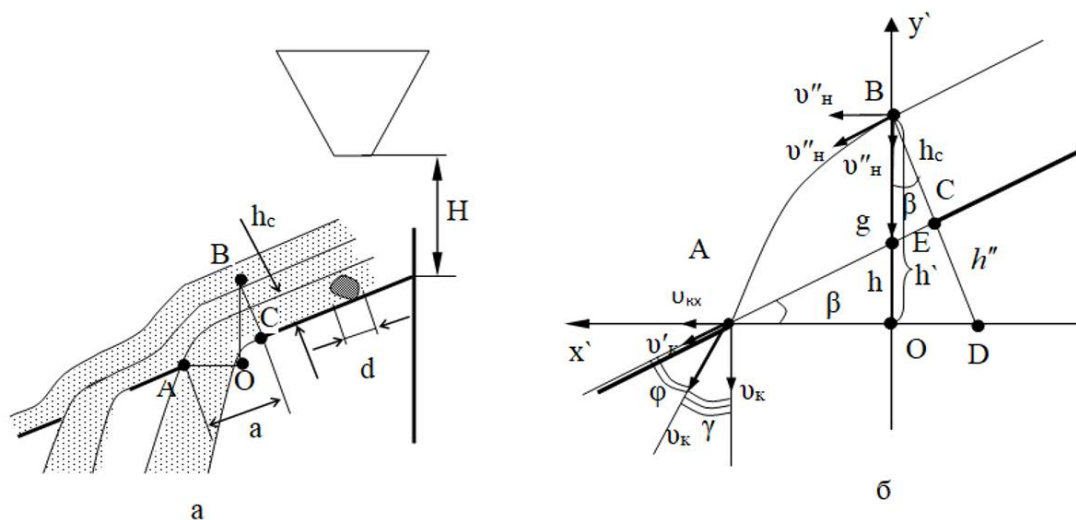


Рис. 2 - К определению  $v_k$  и  $v'_k$

грузочного бункера, м/с;  $H$  - высота от решета до загрузочного бункера, с которой падает сыпучий материал, м.

После соударения сыпучего материала с решетом скорость частицы изменится, так как произойдет косою удар о решето [18]. Вследствие чего получаем:

$$v'_n = v_n \sin \beta,$$

где  $\beta$  - угол наклона решета к горизонтальной поверхности;  $v'_n$  - скорость отскока частицы материала после соударения с решетом, м/с.

Элемент бункерного устройства (решето) состоит из щелей с шириной  $a$  и перемычек между щелями шириной  $b$ .

После того, как частица сыпучего материала попадет на решето, она перемещается по перемычке  $b$ . В конце этого пути скорость частицы сыпучего материала возрастает до

$$v''_n = \sqrt{v_n'^2 + 2 \cdot b \cdot g \cdot \cos \beta \cdot (tg \beta - f)}, \quad (2)$$

где  $v''_n$  - скорость частицы сыпучего материала в конце первой перемычки решета, м/с;  $b$  - ширина перемычки решета, м;  $f$  - коэффициент внешнего трения между сыпучим грузом и поверхностью решета (перемычки).

Для того, чтобы определить оптимальную ширину щели в решете, необходимо выявить высоту слоя сыпучего груза, проходящего в щель элемента бункерного устройства и скорость сыпучего материала на второй перемычке. Для этого рассмотрим рис. 2, б и запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} a = d / \cos \beta + h_c \operatorname{tg} \beta; \\ h' = a \sin \beta + h_c \cos \beta; \\ h' = v''_n \sin \beta \cdot t_2 + 0,5 g t_2^2; \\ d = v''_n \cos \beta \cdot t_2, \end{cases} \quad (3)$$

где  $a$  - ширина щели в решете, м;  $h_c$  - высота слоя сыпучего материала, проходящего в  $i$ -ю щель, м;  $t_2$  - время движения потока слоя от точки В до точки А, с;  $h'$  - расстояние ВЕ, м;  $d$  - расстояние АЕ, м.

После всех преобразований получим высоту слоя сыпучего материала

$$h_c = \frac{a}{\operatorname{tg} \beta} - \left( -\frac{2}{\sin 2\beta} + \sqrt{\frac{4}{\sin^2 2\beta} + \frac{2 \cdot g \cdot a}{v_n''^2 \cdot \cos^2 \beta \cdot \sin \beta}} \right) \cdot \frac{v_n''^2 \cdot \cos^2 \beta}{g \cdot \sin \beta}. \quad (4)$$

На второй перемычке скорость частиц груза

$$v'_k = v_k \cdot \cos \varphi, \quad (5)$$

где  $\varphi$  - угол между вектором скорости  $v_k$  и  $v'_k$ ,  $\varphi = 0,5\pi - \beta - \gamma$ , а  $\gamma = \operatorname{arctg}(v_{kx} / v_{ky})$ ;  $v_k$  - скорость частиц слоя, проходящего в щель в точке А, м/с;  $v_{kx}$ ,  $v_{ky}$  - проекции скорости  $v_k$  соответственно на оси  $Ox'$  и  $Oy'$ , м.

$$v_k = \sqrt{v_n''^2 \cdot \cos^2 \beta + (v_n'' \cdot \sin \beta + \left( \frac{4}{\sin^2 2\beta} + \frac{2 \cdot g \cdot a}{v_n''^2 \cdot \cos^2 \beta \cdot \sin \beta} - \frac{2}{\sin 2\beta} \right) \cdot v_n'' \cdot \cos \beta)^2}. \quad (6)$$

Полученные выражения позволяют определить основные скорости частиц материала на различных участках решета [19].

Для обеспечения оптимальной работы элемента (решета) устройства управления технологическим процессом загрузки, хранения и выгрузки, необходимо, чтобы загружаемый ма-

териал равномерно проходил по решетке, то есть необходимо, чтобы пропускная способность каждой щели устройства была одинаковой (рис. 3).

Тогда производительность отдельного элемента бункерного устройства,  $m^3/c$ , можно определить по формуле:

$$\Pi = B \cdot \sum_{i=1}^n v''_{ni} \cdot h_{ci}, \quad (7)$$

где  $B$  - ширина емкости, м;  $n$  - количество щелей в решетке, шт.

Если  $v''_{n1} = v''_{n2} = \dots = v''_{nn}$ , то уравнение (7) можно записать в виде:

$$\Pi = B \cdot v''_n \cdot h_c \cdot n. \quad (8)$$

Для выполнения указанных выше условий необходимо найти оптимальный угол наклона решета  $\beta$ .

Для решения этой задачи воспользуемся следующими краевыми условиями:

$$\begin{cases} v''_{n1} = v''_{n2} = \dots = v''_{nn}, \\ v'_{к1} = v'_{к2} = \dots = v'_{кn}, \end{cases} \quad i = 1 \dots n. \quad (9)$$

После математических преобразований, используя в дальнейших исследованиях прикладную программу для ПЭВМ Statistica, получим [20]:

$$\beta = -0,23657 + 12321,1a^2 - 12804,4b^2 - 2,805f^2 - 740,373a + 753,364b + 29,714f, \quad (10)$$

где  $\beta$  - угол наклона решета к горизонтальной плоскости, град;  $a$  - ширина щели в решетке, м;  $b$  - ширина перемычки в решетке, м;  $f$  - коэффициент внешнего трения между сыпучим грузом и поверхностью решета (перемычки).

Для обеспечения качественных характеристик сыпучего материала необходимо, чтобы частицы, проходящие через технологические отверстия элемента бункерного устройства, попадали на участок следующего элемента бункерного устройства, который ограничивается точками К и М (рис. 4). При этом в точке Е скорость потока будет минимальна, а в точке А - максимальна. Определив скорости в этих точках, найдем расстояние до следующего элемента бункерного устройства, на которое попадает сыпучий материал. Из выше изложенного следует, что  $v_{\min} = v''_n$ , а  $v_{\max} = v''_к$  скорости попадания материала на начало каждого решета должны быть одинаковыми.

Определим расстояние между решетками  $H_1$  с учетом выше указанного условия.

Запишем координаты точек Е, А, К в прямоугольной системе координат  $yOx$  (рис. 4).

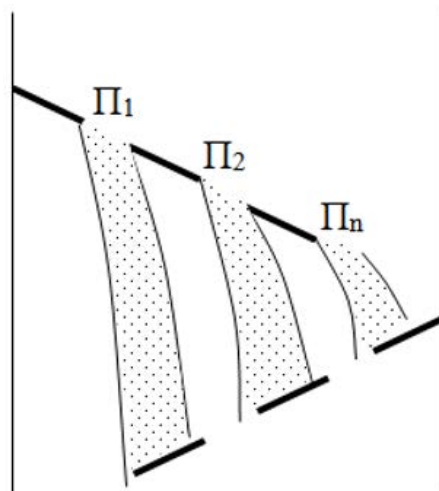


Рис. 3 - К определению пропускной способности решета

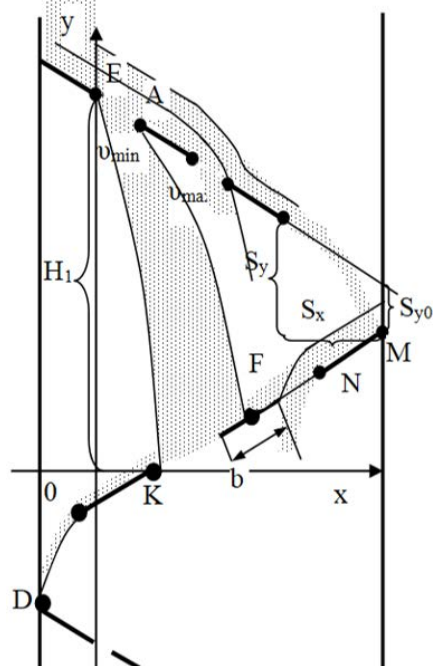


Рис.4 - К определению положения решет в бункере

$$E = \{0; H_1\};$$

$$A = \{a \cos \beta; H_1 - a \sin \beta\};$$

$$K = \{v''_n \cos \beta \cdot t_3; 0\},$$

где  $t_3$  - время падения частиц от точки Е до точки К, с.

Следовательно, координаты точки К:

$$K = \left\{ v''_n \cos \beta \cdot \left( -v''_n \cdot \sin \beta + \sqrt{v''_n^2 \cdot \sin^2 \beta + 2 \cdot g \cdot H_1} \right) / g; 0 \right\}.$$

Для определения места положения второго решета необходимо знать координаты точки М, в которой крепится решето. Ее координаты:



$$M = \{B - b \cdot \cos \beta; \operatorname{tg} \beta (B - K_x - b \cdot \cos \beta)\},$$

где  $K_x$  - координата точки К по оси ОХ.

Определим расстояние между началом второго элемента бункерного устройства и концом первого. Для этого рассмотрим расстояния  $S_{y0}$  и  $S_y$ :

$$S_{y0} = H_1 - \operatorname{tg} \beta \cdot (2B - K_x - 2b \cdot \cos \beta).$$

Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} S_y = S_{y0} + S_x \cdot \operatorname{tg} \beta; \\ S_y = v_{ny}'' \cdot t_4 + 0,5g \cdot t_4^2; \\ S_x = v_{nx}'' \cdot t_4, \end{cases} \quad (11)$$

где  $t_4$  - время падения материала с конца первого решета на начало второго, с.

Решив систему 11, найдем:

$$t_4 = \sqrt{2S_{y0}/g}, \quad S_x = v_{nx}'' \cos \beta \cdot \sqrt{2S_{y0}/g},$$

$$S_y = H_1 - \operatorname{tg} \beta \cdot (2B - K_x - 2b \cos \beta) + \operatorname{tg} \beta \cdot v_{nx}'' \sin \beta \cdot \sqrt{2S_{y0}/g},$$

где,  $v_{ny}'' = v_n'' \sin \beta$ ,  $v_{nx}'' = v_n'' \cos \beta$ ,  $t_4$  - время, за которое падает частица материала с конца первого элемента до начало второго элемента, с.

Рассмотрим скорость падения частиц на второе решето  $v_{2ny}$ , при условии, что скорости падения потока материала на начало каждой из решет будут равны. Запишем это условие в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} v_{2ny} = v_n'' \cdot \sin \beta + gt_4; \\ v_{2ny} = v_n. \end{cases}$$

Решая систему, выразим  $v_n''$  через  $v_n$  (2). Данное уравнение не имеет аналитического решения, поэтому его решали численным методом с помощью программы Statistica. Получили уравнение регрессии [3, 4]:

$$H_1 = -0,423 + 430,059a^2 + 87,41b^2 + 0,028v^2 - 0,841f^2 + 0,32B^2 - 21,615a + 3,404b + 0,091v + 1,425f + 0,358B.$$

Зная координаты точки М, в которой крепится решето, найдем его длину:

$$L_p = (B - S_x) / \cos \beta. \quad (12)$$

Количество щелей в решетке:

$$n = \varepsilon (L_p / (a + b)), \quad (13)$$

где  $\varepsilon (...)$  - обозначение целой части числа, получающегося в результате выполнения действий в скобках; В - ширина емкости, м.

От высоты емкости и угла наклона элементов (решет), будет зависеть их количество:

$$N = H_6 / h_p, \quad (14)$$

где  $h_p$  - расстояние между креплением  $i$ -го элемента (решета) на стенке емкости и крепле-

нием  $i_{+1}$  решета, м;  $H_6$  - высота бункера.

При этом

$$h_p = \operatorname{tg} \beta \cdot B + S_{y0},$$

следовательно  $N = H_6 / (\operatorname{tg} \beta \cdot B + S_{y0})$ ,

то есть чем больше угол установки решета, тем меньше необходимо решет.

Найдем граничные условия для определения параметров  $a$  и  $b$ , то есть их максимальные и минимальные значения. Определим  $a_{\min}$  (рис. 5).

Для этого составим систему уравнений движения частицы радиусом  $r$ :

$$\begin{cases} y_{ц} = a \cdot \sin \beta + r \cdot \cos \beta - r \cdot \sin \alpha; \\ x_{ц} = a \cdot \cos \beta - r \cdot \sin \beta - r \cdot \cos \alpha; \\ \operatorname{tg} \alpha = \frac{x_{ц} \cdot g}{v^2 \cdot \cos^2 \beta} + \operatorname{tg} \beta; \\ x = v \cdot \cos \beta \cdot t_5; \\ y = \frac{g \cdot t^2}{2} + v \cdot \sin \beta \cdot t_5, \end{cases} \quad (15)$$

где  $x_{ц}, y_{ц}$  - координаты центра частицы;  $x, y$  - уравнения движения центра частицы;  $\beta$  - угол установки решета, град;  $r$  - радиус частицы сыпучего материала, м

Данная система уравнений не имеет аналитического решения, поэтому ее решали численным методом с помощью программы Statistica, принимая, что  $a = a_{\min} = 2r = d$ , где  $d$  - максимальный диаметр наибольшей частицы. В итоге получили уравнение регрессии:

$$a_{\min} = -0,329 - 11,315r + 13,816b - 0,021v + 1,287f - 171,232rb + 3,373rv - 11,417rf + 0,003bv + 1,641bf - 0,004vf + 2740,658r^2 - 350,415b^2 + 0,003v^2 - 1,603f^2 \quad (16)$$

Решив уравнение 16, можно определить минимальную ширину щели  $a$  в зависимости от радиуса частицы, скорости падения материала на решето, коэффициента трения, ширины перемычки решета.

### Обсуждение

Предлагаемое бункерное устройство обеспечивает управляемый процесс его заполнения сыпучим материалом путем установки решета в шахматном порядке под определенным углом. Зерно, комбикорм или продукты помола в процессе загрузки, попадая на решета, делят-

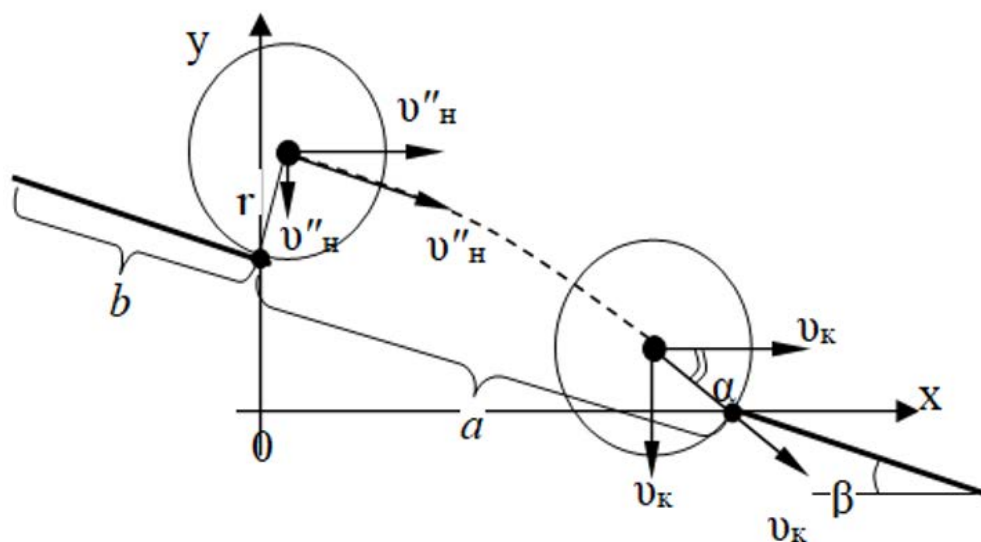


Рис. 5 – К определению минимального размера отверстия

ся на два потока: один проходит сквозь элемент бункерного устройства, а другой сходит с него. Благодаря этому кинетическая энергия частиц материала снижается и происходит его равномерное распределение по поперечному сечению емкости.

#### Заключение

Теоретические исследования бункера с управляемыми технологическими процессами загрузки, хранения и выгрузки позволили получить аналитические выражения для определения конструктивного расположения решет в полости бункера; угла установки решет; количества решет в бункере и минимальных размеров щелей и перемычек в решетке.

#### Библиографический список

1. Determination of the quantitative parameters of the air-product layer in the working chamber of a shredder / M.V. Chkalova, V.A., Shakhov, E.M. Burlutsky, V.D. Pavlidis // *Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. Scientific journal.* - 2017. - №12, - P. 57-60.
2. Gritsenko, G.M. Prerequisites for improving the strategic management of grainprocessing enterprises that have mixed fodder production. *Fundamental research* / G. M. Gritsenko, D. I. Svintsev // *Scientific journal.* – 2015. - № 10 (part 2). - P. 362-365.
3. Finite element analysis of failed slope by shear strength reduction technique : a case study for Surabhi Resort Landslide, Mussoorie township, Garhwal Himalaya / V. Gupta, R.K. Bhasin, A.M. Kaynia, V. Umar, A.S. Saini, R.S. Tandon, T. Pabst // *Geomatics Nat. Hazards Risk.* - 2016. - № 7 (5). – С. 1677–1690. - Doi:10.1080/19475705.2015.1102778, 2016.
4. Paramesh, V. Enhancing ecosystem services and energy use efficiency under organic and conventional nutrient management system to a sustainable arecanut based cropping system / V. Paramesh, V. Arunachalam, A. J. Nath // *Energy.* - 2019. - № 6. – P. 156-168.
5. Parajuli R. Can farmers mitigate environmental impacts through combined production of food, fuel and feed? A consequential life cycle assessment of integrated mixed crop-livestock system with a green biorefinery / R. Parajuli, T. Dalgaard, M. Birkved // *Sci Total Environ.* - 2018. - № 4. – P. 248-261.
6. Производство комбикормовой продукции в 2018 году. *Комбикорма.* - 2019. - № 3. - С. 13-23.
7. Energy budgeting of colocasia-based cropping systems in the Indian sub Himalayas / M. D. Tuti, V. Prakash, B. M. Pandey, R. Bhattacharyya, D. Mahanta, J. K. Bisht [et al.] // *Energy.* - 2012. - № 45. – P. 986e93.
8. Елизаров, В. П. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники / В. П. Елизаров, А. А. Артюшин, Ю. С. Ценч // *Вестник ВИЭСХ.* - 2018. - № 2 (31). - С. 12-18.
9. State program for the development of agriculture and regulation of markets for agricultural products, raw materials and food for 2013-2020 // *Collection of legislation of the Russian Federation.* – 2012. - № 30. - P. 146-158.
10. Liu, G. Energy analysis and economic assessment of a riceturtle-fish co-culture system /

G. Liu, H. Huang, J. Zhou // *Agroecol Sustain Food Syst.* – 2019. - № 43. –P. 299-309.

11. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on energy and economic analyses / Z. Amiri, M. R. Asgharipour, D. E. Campbell, M. Armin // *J Clean Prod.* – 2019. – 226. –P. 1051e66.

12. Comparing the environmental performance of mixed and specialised dairy farms: the role of the system level analysed / S. M. R. R. Marton, A. Zimmermann, M. Kreuzer, G. Gaillard // *J Clean Prod.* – 2016. – 124. – P. 73e83.

13. Патент № 2219118 Российская Федерация, МПК В65D 88/64. Бункер для сводообразующих сыпучих материалов : № 2002112529 : заявл. 13.05.2002: опубл. 20.12.03 / Третьяков Г. М., Горюшинский В. С., Горюшинский И. В., Фролов Н. Н., Прусов М. В., Мосина Н. Н. – 5с. Заявители: Открытое акционерное общество «Промжелдортранс», Самарская государственная академия путей сообщения.

14. Горюшинский, И. В. Технологические системы обеспечения сырьем комбикормовых и животноводческих предприятий : (специальность 05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского хозяйства.) : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Горюшинский Игорь Владимирович; Оренбургский ГАУ. – Оренбург, 2005. – 298 с.

15. Мосина, Н. Н. Методика определения показателей процесса загрузки бункера сыпучим материалом / Н. Н. Мосина // *Современные технологии, средства механизации и техническое обслуживание в АПК : сборник научных трудов Поволжской межвузовской конференции.* – Самара : СГСХА, 2003. – С. 55-57.

16. Ледяев, Т. Б. Перспектива комбикормового производства в Российской Федерации / Т. Б. Ледяев // *Территория инноваций.* – 2017. - № 10 (14). - С. 68-71.

17. Лукиенко, Л. В. Оборудование для производства комбикормовой продукции / Л. В. Лукиенко, А. О. Райков // *Научные инновации - аграрному производству : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию юбилею Омского ГАУ.* - 2018. - С. 229-231.

18. Коняев, Н. В. Проектирование энергоберегающего оборудования для комбикормового производства / Н. В. Коняев, А. С. Скворцов // *Региональный вестник.* - 2018. - № 4 (13). - С. 13-15.

19. Пахомов, В. И. Теоретические предпосылки для разработки методики проектирования модульного производства комбикормов / В. И. Пахомов, С. В. Брагинец, О. Н. Бахчевников // *Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2017) : материалы V Международной научно-практической конференции.* - 2017. - С. 229-232.

20. Халафян, А. А. Статистический анализ данных. STATISTIKA 6.0 / А. А. Халафян. – Москва, 2007. - 512 с.

## THEORETICAL JUSTIFICATION OF PARAMETERS THE PROCESSES OF LOADING, STORAGE AND UNLOADING OF ANIMAL FEED

Prusov M.V.<sup>1</sup>, Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A.

<sup>1</sup>FSBEI HE SamSUCL (Samara State University of communication lines)

443052 Samara, Zavodskoye roadway, 18, aud.9323 (9th education building); tel. 89277102757; e-mail: mak-prusov@yandex.ru

<sup>2</sup>FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University

2432017, Ulyanovsk, Novy Venetz boulevard, 1; tel.: 89050359200; e-mail: andrejpavlu@yandex.ru.

*Key words:* all-mash, tanker, parameters, loading, storage, unloading.

A tanker-type device with controlled technological processes for loading, storing and unloading bulk agricultural materials is considered. The device can be used for storing ready-made all mash and its components in feed mills, pig farms and other farms engaged in animal husbandry. The solution of set task is achieved in that in tanker for free-formative granular materials, containing vertical hull of mainly rectangular cross-section, the discharge device located at the bottom of the hull, and installed inside the enclosure pressure stabilizers fixed on opposite walls of the hull with displacement along its vertical axis, the lower of which is pivotally mounted on a wall of the hull and has a drive for adjusting the angle of its location relative to the hull wall. The basic constructive parameters of the unit are theoretically justified, such as the angle of installation of sieves, the number of sieves in the hopper, the constructive arrangement of sieves in the hopper cavity, and the minimum dimensions of the gap and the bridge in the sieve. It is found that to determine the optimal width of the gap in the sieve, it is necessary to identify the height of the layer of bulk cargo passing through the gap of the element of the hopper unit and the speed of the bulk material on the second bridge. At the same time, in order to ensure optimal operation of the element (sieve) of the device for controlling the technological process of loading, storage and unloading, it is necessary that the loaded material evenly passes through the sieve, that is, it is necessary that the throughput of each slot of the device is the same. The obtained equations allow us to determine the minimum width of the gap and depending on radius of particle, the rate of material falling on the sieve, the coefficient of friction, and the width of the sieve connector.

*Bibliography*

1. Chkalova M.V., Shakhov V.A., Burlutsky E.M., Pavlidis V.D. Determination of the quantitative parameters of the air-product layer in the working chamber of a shredder. *Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. Scientific journal*, 2017, - №12, - P. 57-60.

2. Gritsenko, G.M. Prerequisites for improving the strategic management of grainprocessing enterprises that have mixed fodder production. *Fundamental research / G. M. Gritsenko, D. I. Svintsev // Scientific journal.* – 2015. - № 10 (part 2). - P. 362-365.

3. Finite element analysis of failed slope by shear strength reduction technique : a case study for Surabhi Resort Landslide, Mussoorie township, Garhwal Himalaya / V. Gupta, R.K. Bhasin, A.M. Kaynia, V. Umar, A.S. Saini, R.S. Tandon, T. Pabst // *Geomatics Nat. Hazards Risk.* - 2016. - № 7 (5). – С. 1677–1690. - Do i:10.1080/19475705.2015.1102778, 2016.

4. Paramesh, V. *Enhancing ecosystem services and energy use efficiency under organic and conventional nutrient management system to a sustainable arecanut based cropping system* / V. Paramesh, V. Arunachalam, A. J. Nath // *Energy*. - 2019. - № 6. - P. 156-168.
5. Parajuli R. *Can farmers mitigate environmental impacts through combined production of food, fuel and feed? A consequential life cycle assessment of integrated mixed crop-livestock system with a green biorefinery* / R. Parajuli, T. Dalgaard, M. Birkved // *Sci Total Environ*. - 2018. - № 4. - P. 248-261.
6. *The production of all-mash production in 2018. All-mash*. - 2019. - № 3. - P. 13-23.
7. *Energy budgeting of colocasia-based cropping systems in the Indian sub Himalayas* / M. D. Tuti, V. Prakash, B. M. Pandey, R. Bhattacharyya, D. Mahanta, J. K. Bisht [et al.] // *Energy*. - 2012. - № 45. - P. 986e93.
8. Elizarov, V. P. *Upcoming trend of development of native farming equipment* / V. P. Elizarov, A. A. Artushin, Y. S. Tsench // *Vestnik of VIESH*. - 2018. - № 2 (31). - P. 12-18.
9. *State program for the development of agriculture and regulation of markets for agricultural products, raw materials and food for 2013-2020* // *Collection of legislation of the Russian Federation*. - 2012. - № 30. - P. 146-158.
10. Liu, G. *Energy analysis and economic assessment of a riceturtle-fish co-culture system* / G. Liu, H. Huang, J. Zhou // *Agroecol Sustain Food Syst*. - 2019. - № 43. - P. 299-309.
11. *A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses* / Z. Amiri, M. R. Asgharipour, D. E. Campbell, M. Armin // *J Clean Prod*. - 2019. - 226. - P. 1051e66.
12. *Comparing the environmental performance of mixed and specialised dairy farms: the role of the system level analysed* / S. M. R. Marton, A. Zimmermann, M. Kreuzer, G. Gaillard // *J Clean Prod*. - 2016. - 124. - P. 73e83.
13. Patent № 2219118 Russian Federation, IPC B65D 88/64. *Tanker for compacting bulk materials* : № 2002112529 : application 13.05.2002: published 20.12.03 / Tretyakov G. M., Gorushinsky V. S., Gorushinsky I. V., Frolov N. N., Prusov M. V., Mosina N. N. - 5p. Applicants: OAO Promzheldortrans company, Samara state Academy of communication lines.
14. Goryushinsky, I. V. *Technological systems for providing feed and livestock enterprises with raw materials: (speciality 05.20.01 - Technologies and means of agricultural mechanization.) : dissertation for the degree of doctor of technical Sciences* / Goryushinsky Igor Vladimirovich; Orenburg SAU. - Orenburg, 2005. - 298 p.
15. Mosina, N. N. *Method for determination of parameters of tanker loading process with bulk material* / N. N. Mosina // *Modern technology, means of mechanization and technical service in agro-industrial complex : collection of scientific works of the Volga inter-University conference*. - Samara : SSAA, 2003. - P. 55-57.
16. Ledyev, T. B. *Perspectives of all-mash production in Russian Federation* / T. B. Ledyev // *Innovation territory*. - 2017. - № 10 (14). - P. 68-71.
17. Lukiyyenko, L. V. *Equipment for all mash production* / L. V. Lukiyyenko, A. O. Raykov // *Scientific innovations – agrarian production : Materials of National research to practice conference dedicated to 100th anniversary of OmskSAU*. - 2018. - P. 229-231.
18. Konyayev, N. V. *Design of energy-saving equipment for feed production* / N. V. Konyayev, A. S. Skvortsov // *Regional vestnik*. - 2018. - № 4 (13). - P. 13-15.
19. Pakhomov, V. I. *Theoretical background for the development of design methods for modular feed production* / V. I. Pakhomov, S. V. Braginets, O. N. Bakhchevnikov // *Innovation technologies in science and education (Heat and mass exchange institute-2017) : materials of the Vth World scientific research to practice conference - 2017*. - P. 229-232.
20. Khalafyan, A. A. *Statistical data analysis. STATISTIKA 6.0* / A. A. Khalafyan. - Moscow, 2007. - 512 p.