

**Ли А., Туркменов Х. И., Рузиев Ш.Н.**  
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ  
СЕМЕННОГО ВОРОХА В БУНКЕРЕ КЛЕВЕРОТЕРКИ

**Ли А., Туркменов Х. И., Рузиев Ш. Н.**  
**A.Lee, H.I.Turkmenov, Sh.N.Ruziev**

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ  
СЕМЕННОГО ВОРОХА В БУНКЕРЕ КЛЕВЕРОТЕРКИ**

**ON CERTAIN ISSUES RELATED TO THE THEORY OF MOVEMENT AND DISTRIBUTION OF SEED WEIGHT IN THE CLOVER-HULLER BIN**

**Ли Афанасий** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник – исследователь (докторант), доцент кафедры «Материаловедение и технология конструкционных материалов, прикладная механика и стандартизация» Ташкентского института инженеров ирригации и мелиорации (Республика Узбекистан, Ташкент). E-mail: as\_lee@mail.ru.

**Mr.Afanasy Lee** – PhD in Engineering, Senior Researcher (Doctoral Candidate), Associate Professor, Department of Materials Technology and Construction Materials Technology, Applied Mechanics and Standardization, Tashkent Institute of Irrigation and Melioration (Uzbekistan). E-mail: as\_lee@mail.ru

**Туркменов Хасан Ишимович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Материаловедение и технология конструкционных материалов, прикладная механика и стандартизация» Ташкентского института инженеров ирригации и мелиорации (Республика Узбекистан, Ташкент). E-mail: turkmenov@yandex.ru.

**Mr. Hassan I. Turkmenov** – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Materials Technology and Construction Materials Technology, Applied Mechanics and Standardization, Tashkent Institute of Irrigation and Melioration (Uzbekistan). E-mail: turkmenov@yandex.ru

**Рузиев Шохрухбек Набиевич** – старший преподаватель кафедры «Естественно-математические науки», Туринский политехнический университет (Республика Узбекистан, Ташкент). E-mail: shohruzn@yahoo.com.

**Mr. Shohruhbeck N. Ruziev** – Senior Lecturer, Department of Natural and Mathematical Studies, Turin Polytechnic University, City of Tashkent (Uzbekistan). E-mail: shohruzn@yahoo.com

**Аннотация.** В данной статье приведены некоторые теоретические аспекты уравнения движения и распределения массы семенного вороха в бункере клеверотерки. Выведенные аналитические зависимости позволяют определить некоторые выходные параметры дозатора.

**Summary.** The paper deals with several theoretical aspects of the movement and weight distribution of the seed heap in the clover-huller bin. The resulting analytical dependencies allow us to define certain output parameters of the dispenser.

**Ключевые слова:** масса, сила, давление, бункер, линия, сечение, объем, вес, условие, равномерность, движение, площадь, уравнение.

**Key words:** weight, force, pressure, bin, line, section, volume, mass, condition, uniformity, movement, area, equation.

УДК 631.354.2

**Введение**

Свежеубранные семена имеют, как правило, высокую среднюю влажность (20-25 %) и засоренность (до 20-30 %), в них содержится много примесей – необмолоченные бобики, обломки стеблей и листьев люцерны, поврежденных и недозревших семян, а также семян сорных и карантинных растений. Особенно опасны склонность свежеубранного вороха к самосогреванию и возможность быстрой утраты семенных качеств. При поступлении биомассы на ток, во избежание самосогревания, она в первую очередь должна пройти предваритель-

ную очистку. При этом семена отделяются от необмолоченных бобиков, крупных влажных примесей, щуплых и поврежденных семян.

По исследованиям некоторых авторов [1] предварительная очистка улучшает технологические свойства семенной массы, повышает производительность и надежность работы транспортеров, сушилок, бункеров активного вентилирования. В механизмах предварительной очистки производительность процесса определяется характером движения массы в бункере.

В статье рассматриваются вопросы кинематики и динамики движения массы семенного вороха в бункере.

### Теория движения и распределения массы семенного вороха в бункере клеверотерки

Теория движения и распределения массы семенного вороха в бункере клеверотерки выполнена согласно основным положениям механики и высшей математики [3; 4; 5] с учетом технологических особенностей процесса дозирования семян люцерны.

На массу семенного вороха люцерны в усеченной пирамиде действуют силы земного притяжения и давление массы вороха на верхнем и нижнем сечениях (см. рис. 1).

Сила земного притяжения

$$G = \rho g S l \sin \alpha ; l \sin \alpha = z_1 - z_2 .$$

Давление массы вороха на верхнем и нижнем сечениях  $p_1$  и  $p_2$  бункера. При равномерном движении массы вороха в бункере распределение давления в поперечных сечениях осуществляется по законам статики, поэтому  $P_1 = p_1 S$  и  $P_2 = p_2 S$ , где  $p_1$  и  $p_2$  – статические давления в центре тяжести площадей  $S$  в произвольных точках сечений, лежащих на одной линии пересечения этих сечений.

Сумма проекций этих сил равна

$$P_1 - P_2 = S(p_1 - p_2) .$$

Проекции сил  $F$  и сил давления  $F_1$  стенок пирамиды на боковую поверхность выделенной массы вороха равны нулю, так как они перпендикулярны выбранной оси проекции.

Активная сила равна сумме всех действующих сил

$$\sum F_{\text{акт}} = \rho g S (z_1 - z_2) + S(p_1 - p_2) .$$

Составляющие силы сопротивления

$$F = \int_0^{\chi} \tau_0 l^* d\chi = \tau_0 l^* \chi ; l^* = \pi(r + l) ,$$

где  $\tau_0$  – среднее значение касательного напряжения на стенке;  $l$  – высота лопасти.

Приравнявая эти силы и с учетом условий равномерности сил, получаем выражение

$$\rho \omega g (z_1 - z_2) + S(p_1 - p_2) = \tau_0 l \chi ,$$

где  $S = ab$  – площадь поперечного сечения бункера ( $a$  и  $b$  – соответственно ширина и длина стенки);  $\chi = 2(a + b)$  – периметр поперечного сечения бункера.

Объем усеченной пирамиды можно определить по формуле

$$V = \frac{h}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}) .$$

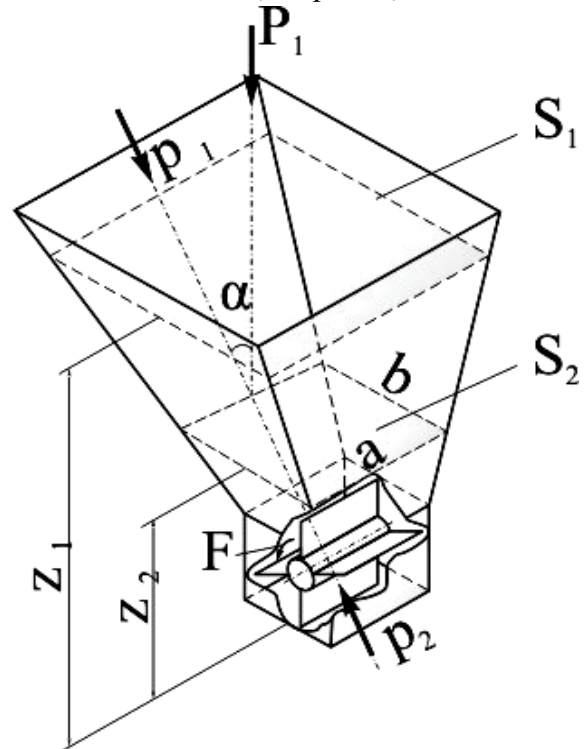


Рис. 1. Схема сил, действующих на ворох люцерны в бункере

**Ли А., Туркменов Х. И., Рузиев Ш.Н.**  
 НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАССЫ  
 СЕМЕННОГО ВОРОХА В БУНКЕРЕ КЛЕВЕРОТЕРКИ

Вес рассматриваемой массы вороха люцерны равен:

$$G = mg = \rho Vg = \gamma V; \quad V = \frac{G}{\gamma},$$

где  $\gamma$  – плотность семенной массы вороха.

Сила  $P$ , под действием которой семенная масса вороха попадает в зону действия лопастей барабана, имеет вид:

$$P = G = \gamma V.$$

Для транспортировки лопастями определенной порции вороха в барабан клеверотерки необходимо условие

$$P < Fm\omega^2 r,$$

где  $F$  – сила, действующая на лопасть барабана.

Таким образом,

$$\rho Sg(z_1 - z_2) + S(p_1 - p_2) = \tau_0 l \chi; \quad \tau_0 l \chi = m\omega^2 r,$$

где  $l$  – путь, пройденный массой вороха в бункере, или расстояние между сечениями  $S_1$  и  $S_2$ .

Величина пути массы вороха, входящей в пространство между лопастями, равна высоте лопастей:

$$P = S(\rho gh + \Delta p) = m\omega^2 r,$$

где  $Sh = V = \frac{h}{3}(S_1 + \sqrt{S_1 S_2} + S_2); \quad \omega = \sqrt{\frac{S(\rho gh + \Delta p)}{mr}}.$

С другой стороны, величину массы вороха в пространстве между лопастями можно представить в следующем виде:

$$m = \frac{\tau_0 l \chi}{\omega^2 r} \quad \text{или} \quad \frac{\tau_0 l \chi}{9r} = m. \quad (1)$$

Как известно, окружная скорость определяется формулой

$$\vartheta = 2\pi r n,$$

где  $r$  – радиус вала;  $n$  – число оборотов.

Тогда после преобразований выражение массы (1) принимает следующий вид:

$$m = \frac{\tau_0 l \chi}{2\pi r^2 n}.$$

Площадь, занимаемая семенным ворохом в бункере, равна:

$$\chi = \pi \left( r + \frac{l}{2} \right) + 2l.$$

Площадь поперечного сечения или сектора семенного вороха, находящегося в барабане, можно определить из разности двух площадей (см. рис. 2, 3)

$$S_{\text{секABC}} = \frac{\pi(r+l)^2 n^\circ}{360^\circ} \quad \text{и} \quad S_{\text{секEAK}} = \frac{\pi r^2 n^\circ}{360^\circ} = \frac{1}{2} r^2 \alpha,$$

где  $\alpha$  – центральный угол, рад;

$$S_{\text{ВЕКС}} = S_{\text{секABC}} - S_{\text{секEAK}} = \frac{\pi(r+l)^2 n^\circ}{360^\circ} - \frac{\pi r^2 n^\circ}{360^\circ} = \frac{\pi n^\circ}{360^\circ} (2rl + l^2).$$

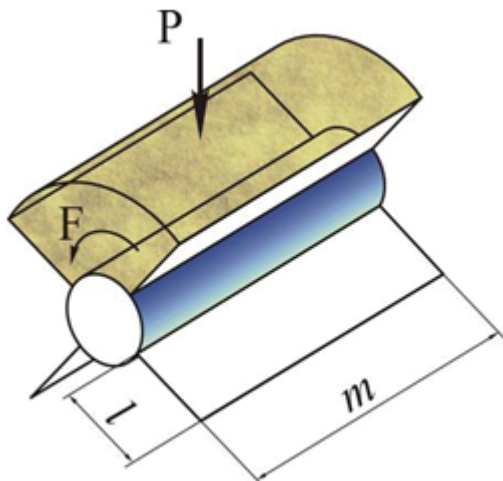


Рис. 2. Схема движения потока семенного вороха



Рис. 3. Профиль схемы движения потока семенного вороха

Объем  $\frac{1}{4}$  части объема массы вороха между лопастями барабана имеет вид

$$V'_n = \frac{\pi(2rl + l^2)m}{4}$$

Из уравнения неразрывности  $S_1 u_1 = S u = Q$  следует, что подача по всему объему бункера не меняется, т.е. масса семенного вороха в нем распределена равномерно. Из условия равномерности вытекает условие работы лопастного барабана.

Лопастной вал барабана вращается с угловой скоростью  $\omega$ , масса семенного вороха равномерно поступает в пространство между лопастями со скоростью  $\mathcal{G}_1$ , которая равна сумме первоначальных скоростей семенного вороха  $u_1$  и угловой скорости относительного вращения лопастей  $\omega_1$  (см. рис. 4).

Также можно определить скорость выхода массы вороха из лопастей. Ее абсолютное значение равно  $C_2$ , которое равно сумме линейных скоростей массы вороха и относительной угловой скорости  $\omega_2$ . Давление на массу семенного вороха при входе равно  $P_1$ , а при выходе –  $P_2$ .

При таких допущениях уравнение Бернулли имеет вид

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\omega_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\omega_2^2}{2g} - H_k + h_{1-2}, \quad (2)$$

где  $H_k$  – давление, создаваемое центробежной силой;  $h_{1-2}$  – потери между сечениями;  $P_1 = P_2$  – граница активности давлений, определяемая из условия

$$\frac{\mathcal{G}_1^2}{2g} = \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g}$$

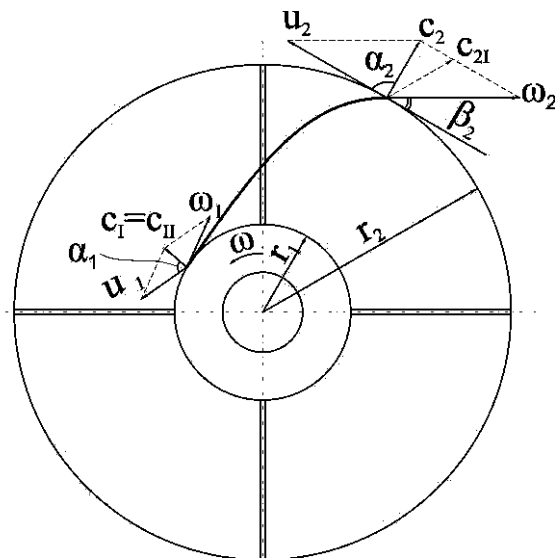


Рис. 4. Схема движения частицы семенного вороха люцерны в лопастном барабанае

Если лопастной вал вращается с угловой скоростью  $\omega$  и на частицу семенного вороха с массой  $m$  действует сила тяжести  $G$ , то выполненная работа для преодоления расстояния  $r_2 - r_1$  равна

$$A = \int_{r_1}^{r_2} \frac{G}{g} \omega^2 r dr = \frac{G\omega^2}{2g} (r_2^2 - r_1^2).$$

Учитывая, что  $\omega^2 r_2^2 = u_2^2$  и  $\omega^2 r_1^2 = u_1^2$ , выполненную работу можно представить в следующем виде:

$$A = G \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}. \quad (3)$$

Из выражения (3) можно определить давление на частицу вороха, создаваемую лопастями барабана с угловой скоростью  $\omega$ :

$$H_k = \frac{A}{G} = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}.$$

Тогда после преобразований уравнение Бернулли (2) примет следующий вид:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\omega_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\omega_2^2}{2g} - \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + h_{1-2}.$$

Давление на входе в пространство между лопастями барабана составляет:

$$H_1 = z_1 = \frac{P_1}{2g} + \frac{\vartheta_1^2}{2g}.$$

Давление на выходе из пространства между лопастями барабана равно:

$$H_2 = z_2 = \frac{P_2}{2g} + \frac{\vartheta_2^2}{2g} - h_{1-2}.$$

Разность давлений  $H = P = P_{вх.} - P_{вых.}$  при входе и выходе является внутренним давлением

$$P = z_2 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\vartheta_2^2}{2g} + h_{1-2} - \left( z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\vartheta_1^2}{2g} \right). \quad (4)$$

После преобразований выражения (4) получим формулу для определения внутреннего давления

$$H = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2g} + \frac{\vartheta_2^2 - \vartheta_1^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}. \quad (5)$$

Угловые скорости входящего и выходящего потоков массы семенного вороха соответственно равны:

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= u_1 + \vartheta_1 - 2u_1\vartheta_1 \text{Cos}\alpha_1, \\ \omega_2^2 &= u_2 + \vartheta_2 - 2u_2\vartheta_2 \text{Cos}\alpha_2. \end{aligned}$$

Если углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  принять равными  $90^\circ$ , то и масса семенного вороха поступает в пространство между лопастями под углом  $90^\circ$ , т.е. параллельно радиусу вращающегося вала, тогда  $\text{Cos}\alpha_1 = 0$ . Учитывая данный фактор и после преобразования уравнения (5), получим выражение для определения внутреннего давления

$$H = \frac{u_2\vartheta_2 \text{Cos}\alpha_2}{g}. \quad (6)$$

Если поток массы семенного вороха от поверхности лопастного барабана сходит под углом  $\beta_2$ , то формула косинусов двух углов может быть представлена в виде:

$$\vartheta_2 \text{Cos}\alpha_2 = u_2 - \omega_2 \text{Cos}\beta_2.$$

При равных значениях углов выражение для определения внутреннего давления (6) примет вид:

$$H = \frac{u_2}{2g} \left( 1 - \frac{\omega_2^2}{u_2} \cos \beta_2 \right). \quad (7)$$

Анализ полученного выражения (7) показывает:

- что давление внутри лопастного барабана пропорционально количеству лопастей, так как  $u_2 = \pi d_2 n$ , где  $n$  – количество лопастей;

- давление в пространстве между лопастями зависит не только от количества лопастей, но и от их формы;

- если кривизна лопастей наклонена в сторону вращения вала, т.е. угол  $\beta_2 > 90^\circ$ , а  $\cos \beta_2 < 0$ , то давление имеет положительное значение

$$\left( 1 - \frac{\omega_2^2}{u_2} \cos \beta \right) > 1 \quad \text{или} \quad H > \frac{u_2^2}{2g};$$

- если кривизна лопастей наклонена в противоположную сторону вращения вала, т.е.  $\beta_2 < 90^\circ$ , а  $\cos \beta_2 > 0$ , то давление имеет отрицательное значение:

$$\left( 1 - \frac{\omega_2^2}{u_2} \cos \beta \right) < 1;$$

- если кривизна лопастей направлена вдоль радиуса, т.е.  $\beta_2 = 90^\circ$ , а  $\cos \beta_2 = 0$ , то давление равно нулю

$$H_k = \frac{u_2^2}{2g}.$$

Отсюда следует, что для достижения оптимального значения внутреннего давления лопасти дозирующего барабана относительно оси вала должны быть расположены под углом  $16...30^\circ$ .

Следует учитывать, что с уменьшением угла  $\beta_2$  частота вращения вала увеличивается

$$U_2 = \pi d n.$$

Известно, что отношение фактического давления на теоретическое давление является коэффициентом  $\eta$  полезного действия (КПД)

$$\eta = \frac{H_{np}}{H_n}. \quad (8)$$

Тогда из выражения (8) можно определить фактическое давление, которое равно:

$$H_{np} = H \eta = \eta \frac{u_2 \vartheta_2 \cos \alpha_2}{g},$$

или

$$H_n = \frac{u_2 \vartheta_2 \cos \alpha_2 - u_1 \vartheta_1 \cos \alpha_1}{g}.$$

Полезное давление

$$H_n = H \eta \xi.$$

Число лопастей определяется по формуле

$$n = 2k \frac{r_m}{l} \sin \beta_m,$$

где  $r_m$  – радиус силы тяжести лопастей, м;  $l$  – длина лопастей, м;  $\beta_m$  – среднеарифметическое значение углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , град.

Приведенный выше теоретический анализ касается только отдельных частиц массы семенного вороха.

В многофазную среду легко перейти, используя следующее выражение:

$$\mathfrak{G}_1^* = \mathfrak{G} - \frac{(f_1 + \rho f_2) \hat{\mathfrak{G}}_{\text{см}} - \mathfrak{G}_{\text{см}}^*}{(\rho - 1) f_1} = f_1 \rho \hat{\mathfrak{G}}_{\text{см}} - f_1 \mathfrak{G}_{\text{см}} - f_2 \mathfrak{G}_{\text{см}}.$$

В этом случае уравнение Бернулли примет следующий вид:

$$z_1 - z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{1}{\gamma} \left[ \frac{\rho_1 \mathfrak{G}_1^2}{2} + \frac{\rho_2 \mathfrak{G}_2^2}{2} \right] = \frac{\tau_0 \chi P}{\gamma S}.$$

В случае, когда компоненты массы семенного вороха несжимаемы, т.е.  $\rho_{li} = \text{const}$  и  $\rho_{2i} = \text{const}$ , то скорости каждого компонента определяются следующими формулами:

$$\bar{\mathfrak{G}}_1 = \frac{\rho \hat{V}_{\text{см}} - (f_1 + \rho f_2) \bar{\mathfrak{G}}_{\text{см}}}{f_1 (\rho - 1)},$$

$$\bar{\mathfrak{G}}_2 = \frac{\rho \hat{\mathfrak{G}}_{\text{см}} - (f_1 + \rho f_2) \bar{\mathfrak{G}}_{\text{см}}}{f_2 (\rho - 1)}.$$

Семенной ворох люцерны по морфологическому составу состоит из органических и минеральных примесей, поэтому для процесса вытирания бобиков семян необходимо использовать известные теоретические предпосылки.

### **Заключение**

На качество перетирания и предварительной очистки семенной биомассы люцерны при установившемся режиме работы клеверотерки существенное влияние оказывает режим работы дозирующего барабана и его геометрические размеры.

Угловая скорость дозирующего барабана отстает от угловой скорости барабана клеверотерки из-за разности их окружных скоростей, следовательно, производительность клеверотерки преобладает по сравнению с производительностью дозирующего барабана.

Полученные теоретические зависимости можно использовать при оптимизации конструктивных элементов бункера клеверотерки и режимов работы аппарата.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Дринча, В. М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки / В. М. Дринча. – Воронеж: НПО «Модэк», 2006. – 384 с.
2. Кильчевский, Н. А. Курс теоретической механики. В 2 т. Т. 2 / Н. А. Кильчевский. – М.: Наука, 1977. – 544 с.
3. Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики. В 2 т. Т. 2 / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лупц, Д. Р. Меркин. – М.: Наука, 1985. – 496 с.
4. Богомягких, В. А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов / В. А. Богомягких. – Ростов н/Д.: Изд-во Ростовского ун-та, 1973. – 152 с.
5. Зенков, Р. Л. Механика насыпных грузов / Р. Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964. – 252 с.