Тип статьи: научная
УДК 631.33.022.69
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-78-84

ОСНОВНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ БУНКЕРА И ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ СЕМЯН В БУНКЕРЕ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

Анна Георгиевна Уварова[1], Николай Евгеньевич Филатов[2]
[1,2] Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова, г. Курск, Россия
[2]nicolyafilatov@gmail.com

Автор ответственный за переписку: Николай Евгеньевич Филатов, nicolyafilatov@gmail.com
Corresponding author: Nikolay Filatov, nicolyafilatov@gmail.com

Реферат. *Важную роль в технологическом процессе посева семян дисковым механическим высевающим аппаратом играет истечение семян из бункера. Анализ исследований данного процесса показал, что истечение семян зависит от геометрии бункера и выпускного отверстия, физико-механических свойства материалов, условия загрузки, и выпуска. Приведен анализ конструкции симметричного щелевого бункера, в котором движение семян происходит в пределах канала выгрузного отверстия. Представлена методика расчета его геометрических параметров. Технологический объем семенного бункера определен через сумму активного и пассивного объема. Бункер представлен в виде двух фигур верхней части (параллелепипеда) и нижней части (обелиска). Получено уравнение для определения высоты обелиска, которая определяется при условии ссыпания всей массы семян в выходное отверстие бункера, что возможно при условии, если угол наклона боковых стенок больше угла трения семян о поверхность бункера. Рассмотрены силы, действующие на непрерывно движущийся поток семян в бункере, выделив бесконечно малый горизонтальный элемент толщиной dx в бункере. Теоретически определены сжимающие силы на зерновой поток. Установлен метод оценки скорости истечения семенного потока из бункера и его пропускная способность*.

Ключевые слова: *бункер, движение семян, нормальное истечение, сила, разгрузочное окно, поток, высевающий аппарат*.

THE MAIN GEOMETRIC PARAMETERS OF THE HOPPER AND DYNAMICS OF THE MOVEMENT OF SEEDS IN THE HOPPER OF THE SOWING MACHINE

Anna Uvarova[1], Nikolay Filatov[2]
[1,2]Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, Kursk, Russia
[2]nicolyafilatov@gmail.com.

Abstract. *An important role in the technological process of sowing seeds with a mechanical disk sowing machine is played by the outflow of seeds from the hopper. Analysis of the studies of this process showed that the expiration of seeds depends on the geometry of the hopper and the outlet, the physical and mechanical properties of the materials, the loading conditions, and the release. An analysis of the design of a symmetrical slotted hopper is given, in which the movement of seeds occurs within the channel of the unloading opening. A method for calculating its geometric parameters is presented. The technological volume of the seed hopper is determined through the sum of the active and passive volume. The bunker is presented in the form of two figures of the upper part (parallelepiped) and the lower part (obelisk). An equation is obtained for determining the height of the obelisk, which is determined under the condition that the entire mass of seeds is poured into the outlet of the hopper, which is possible provided that the angle of inclination of the side walls is greater than the angle of friction of the seeds on the surface of the hopper. The forces acting on a continuously moving flow of seeds in the bunker are considered, having singled out an infinitely small horizontal element with a thickness dx in the bunker.*

Theoretically, the compressive forces on the grain flow are determined. A method for estimating the speed of the seed flow from the hopper and its throughput has been established.

Keywords: *hopper, seed movement, normal outflow, force, discharge window, flow, seeding apparatus.*

Для цитирования: Уварова А.Г., Филатов Н.Е. Основные геометрические параметры бункера и динамика движения семян в бункере высевающего аппарата // Наука в Центральной России. 2022. № 6 (60), С. 78-84. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-78-84.

For citation: Uvarova A, Filatov N. The main geometric parameters of the hopper and dynamics of the movement of seefs in the hopper of the sowing machine. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 78-84. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-78-84.

Введение. Основным агротехническим показателем качества посева является равномерное распределение семян вдоль рядка. Дисковые высевающие аппараты лучше всего отвечают этому условию. Увеличение производительности и точности посева механических, высевающих аппаратов сеялок, во многом зависит от пропускной способности бункеров, которые часто применяются не только в качестве транспортирующих устройств, но также в качестве дозирующих устройств [1,2].

Бункер - обязательный узел в установках, работающих с сыпучими материалами. В высевающих агрегатах – это емкость определенной геометрической формы и размеров для кратковременного хранения и высева посевного материала. Несмотря на повсеместное распространение бункеров, теория их рабочего процесса до настоящего времени недостаточно изучена. В технологическом процессе устойчивое нормальное истечение семян, особенно мелкосеменных культур, во многом зависит от формы бункера, разгрузочного окна и типа истечения [3]. Как указано в работах [3,4], форма бункера должна обеспечивать максимальное заполнение и полную разгрузку без образования «мертвых» зон, где происходит задержка семян, и предотвращать возможность сводообразования (зависания) семян над разгрузочными отверстиями, нарушающего режим свободного истечения». Авторы работы [3] утверждают также, что угол наклона стенок бункера должен быть на 10–15° больше угла естественного откоса семян для того, чтобы у стенок воронки не образовывалась пассивная зона, в пределах которой семена в начале разгрузки остаются неподвижными, затем располагаются по углу естественного откоса, а затем скользят вдоль стенок бункера.

Наибольшее распространение в конструкциях высевающих аппаратов нашли симметричные щелевые бункера. Для данной формы бункера движение семян происходит в пределах канала выгрузного отверстия.

Материалы и методы исследования. Технологический объем семенного бункера определяется как сумма активного и пассивного объема [4,5]:

$$V_T = V_A + V_n, \quad (1)$$

где V_A – активный объем - высеваемый объем семян, м^3;
V_n – пассивный объем - невысеваемый объем семян, м^3.
Активный объем

$$V_a = \frac{10^{-6} \times m'_{cp} \times q \times Ln}{j} \quad (2),$$

где $m_{ср}$ – средняя штучная подача семян, шт./м;
g– масса 1000 семян, г^3,
L – проектируемая длина гонов, м;
n – проектируемое количество гонов дозаправки, шт.;
j – объемная масса высеваемого материала, г/м^3.

Пассивный объем

$$V_n = V_T(1-\beta) \quad (3)$$

где β – коэффициент использования объема бункера, β=0,9.

$$\text{Причем } \beta=\frac{V_A}{V_T} \quad (4)$$

После преобразований получим, что технологический объем бункера (м^3) будет определять формула:

$$V_T=\frac{10^{-6}\times m_{ср}\times g\times L\times n}{j\times\beta} \quad (5)$$

Бункер для семян состоит из двух фигур верхней части (параллелепипеда) и нижней части (обелиска)

Обелиск – это фигура, состоящая из двух прямоугольных оснований верхнего и нижнего, которые располагаются в параллельных плоскостях, а противоположные грани одинаково наклонены к основанию, но не пересекаются в одной точке [6].

Объем прямоугольного параллелепипеда определятся из следующего выражения:

$$V_в=a\cdot b\cdot h,\ м^3, \quad (6)$$

где a – длина параллелепипеда, м;
b – ширина параллелепипеда, м;
h – высота параллелепипеда, м.

Объем обелиска

$$V_0=\frac{h_1[(2a+a_1)b+(2a+a)b_1}{6} \quad (7)$$

где a – длина меньшего основания обелиска, м;
b – ширина меньшего основания обелиска, м;
h_1 – высота обелиска, м.

Высота обелиска определяется при условии ссыпания всей массы семян в выходное отверстие бункера. Это возможно при условии, если угол наклона боковых стенок больше угла трения семян о поверхность бункера.

Исходя из данного условия, получаем выражение для определения высоты обелиска:

$$h_1=\frac{(a-a_1)tg£}{2}, \quad (8)$$

Соответственно

$$V_0=\frac{[(2a+a_1)b+(2a+a)b_1\cdot(a-a_1)tg£}{12}$$

Рассмотрим силы, действующие на непрерывно движущийся поток семян в бункере, выделив бесконечно малый горизонтальный элемент толщиной dx, который является механической системой материальных сил.

Схема сил зернового потока в бункере представлена на рисунке 1.

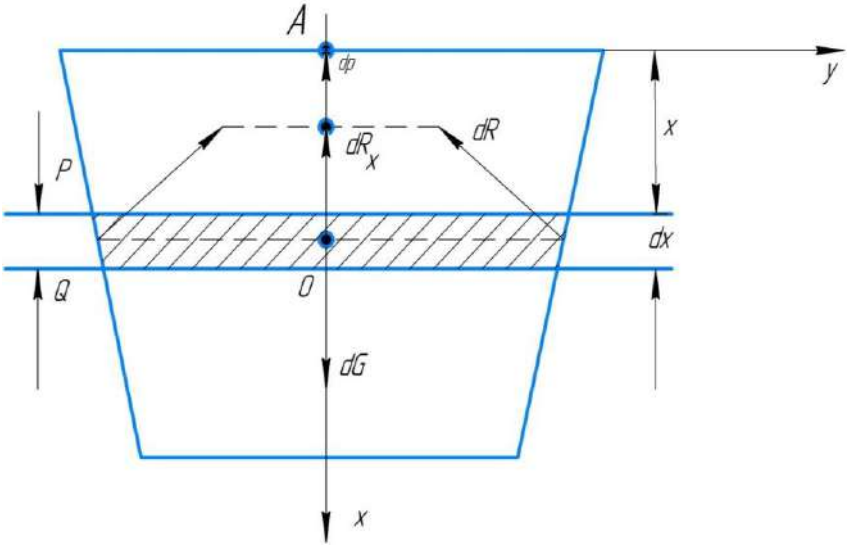

Рисунок 1 – Схема сил зернового потока в бункере

В этом случае будут действовать силы: dG – сила тяжести, P и $Q = P + dP$, вертикальные силы элемента верхних и нижних слоев, dR – реакции стенок бункера.

Спроецировав действующие силы на ось АХ, составим дифференциальное уравнение движения потока

$$dm \cdot a = dG - dR_x - dP, \tag{9}$$

где dm – масса элемента;

$a = a_G$ – проекция ускорения массы на ось АХ;

dR_x – сумма реакции поверхностей стенок бункера;

$Q - P = dP$ – приращение осевого усилия P на расстоянии dx.

Определим составные части уравнения (9)

Масса элемента dx

$$Dm = jFdx, \tag{10}$$

где $F=F(x)$ - площадь поперечного сечения разгрузочного окна;

j – плотность зерна;

Сила тяжести – $dG = gdm = jgFdx$ (11)

dR_x – сумма реакций стенок бункера.

Допустив, что распорные свойства зерновой среды будут пропорциональны распорным силам Q и P будут по модулю практически равны, то

$$dR_x = KPdx \tag{12}$$

где $K=K(x)$ – коэффициент сопротивления, зависящий от многих факторов (формы зоны подачи семян к высевающему диску, физико-механические свойства семян и др.).

Результаты исследований. Основной задачей расчета является определение сжимающей силы P, зависящей от переменных x и времени t, то есть $P = p\ (x, t)$

Приращение осевой силы dP является частным дифференциалом $d_xP=\frac{dP}{dx}\,dx$.

Подставив найденные значения в уравнение (9), получим дифференциальное уравнение движения сплошной сыпучей среды [7,8].

$$\frac{dP}{dx}+\text{KP} = gF(g-a). \tag{13}$$

Иногда в расчетах используют вертикальное давление $б=\frac{P}{F}$. Откуда P можно записать

$$\text{P=Fб=F(x)б(x,t)}$$

или

$$\frac{dP}{dx}=б\frac{dF}{dx}+F\frac{dб}{dx}. \tag{14}$$

Включив P и $\frac{dP}{dx}$ в (11), получим

$$\frac{d6}{dx} + (\text{К} + \frac{F|}{F})\ б = g(q-a), \tag{15}$$

где $F|$ – площадь разгрузочного окна.

В данном уравнении ускорение а не выражено через закон течения, что затрудняет его практическое использование.

Эту связь можно получить через объемный расход

$q=FU$ (или нормой высева)

Откуда $$U=\frac{q}{F}=\frac{q(t)}{F[x(t)]}, \tag{16}$$

где $x=x(t)$ – закон движения;

$F[x(t)]=F(t)$ – закон изменения площади поперечного сечения переходного участка [9].

Продифференцировав (14), получим

$$a=\frac{dV}{dt}=\frac{d}{dt}\frac{(q)}{f}=\frac{d}{dt}\{\frac{q(t)}{F[x(t)]}\}$$

или окончательно

$$a=\frac{qF-qfF^{|}x}{F^2}, \quad (17)$$

где $q=\frac{dq}{dt}$; $F^{|}=\frac{dF}{dx}$; $x=\frac{dx}{dt}=U$

С учетом, что $x=U=\frac{q}{F}$, выражение ускорения будет выглядеть

$$A=\frac{1}{F}q-\frac{F^{|}}{F^3}q^2=a_1+a_2 \quad (18)$$

Процесс расхода семян в аппарате считается установившимся и характеризуется ускорением $a_2=\frac{F^{|}}{F^3}q^2$.

Подставив найденные значения ускорения в (13) и (15), получим

$$\frac{dP}{dx}+KP=j(gF-q+\frac{F^{|}}{F^3}q^2); \quad (19)$$

$$\frac{d6}{dx}+(K+\frac{F^{|}}{F})\,6=\frac{j}{F}(gF-q+\frac{F^1}{F^2}q^2). \quad (20)$$

Выражение (19) определяется вертикальным усилием, а (20) – давление при движении сыпучего материала

Исходя из условия правильной пирамидальной укладки шаровых мелкозернистых зерен и закона истечения зернистого материала из бункера, гидравлический радиус сечения определяется

$$R_r=\frac{2F}{S}, \quad (21)$$

где S – площадь диаметрального сечения одного шара.

Запишем отношение сил Q и P

$$\frac{d6}{dx}=\frac{R_r d_{sin\,\beta}\,.\,tg(\varphi\pm a)\cdot tg(\beta\pm\psi)}{R_r d_{sin\,\beta}\,.\,tg(\varphi\pm a)\cdot tg(\beta\pm\psi)},$$

(22)

где d – диаметр семян;

β – угол укладки зерен сыпучего материала;

a – угол отклонения стенки бункера от вертикали;

φ - угол внешнего трения зерен о стенки бункера;

ψ – угол внутреннего трения зерен.

Определим дискретное значение приращения ΔR_x

$$\Delta R_x=\frac{2d_{sin\,\beta}\,.\,tg(\varphi\pm a)\cdot tg(\beta\pm\psi)}{R_r+d_{sin\,\beta}\,.\,tg(\varphi\pm a)\cdot tg(\beta\pm\psi)}\cdot P$$

или

$$dR_x=\frac{tg\beta+tg(\beta\pm\psi)\cdot tg(\varphi\pm a)}{R_r+d_{sin\,\beta}\,.\,tg(\varphi\pm a)\cdot tg(\beta\pm\psi)}\cdot Pdx$$

(23)

Учитывая несоизмеримо малые размеры d относительно R_r, упростим знаменатель (23) и перенеся эти изменения в (12), получим выражение для определения коэффициента сопротивления

$$K=\frac{1}{R_r}\,tg\beta\cdot tg(\beta\pm\psi)\cdot tg(\varphi\pm a) \quad (24)$$

Обозначив $tg\beta\cdot tg(\beta\pm\psi)\cdot tg(\varphi\pm a)$ значением K_0, получим

$$K=\frac{K_0}{R_r} \quad (25)$$

При этом, K_0 не зависит от линейных размеров поперечного сечения и для прямоугольного выгрузного окна со сторонами a и b

$$R_г = \frac{2F}{S} = \frac{ab}{a+b}. \quad \text{(гидравлическое истечение)} \qquad (26)$$

$$R_{гН} = \frac{0,5\ a \cdot b}{a+b} \text{ (нормальное истечение)} \qquad (27)$$

Практически, с достаточной точностью, скорость семенного потока из бункера можно определить [10]

$$U = 5,65 \cdot \lambda \sqrt{R_r} \qquad (28)$$

где λ= 0,55…0,65 – коэффициент истечения для семенного потока.

Однако, пропускная способность бункера будет скорректирована (чаще ограничена) нормой высева сельскохозяйственной культуры.

Выводы. Таким образом, в работе была представлена методика расчета геометрических параметров семенного бункера и сил, влияющих на динамику движения семенного потока в бункере.

Установлен метод оценки скорости истечения семенного потока из бункера и его пропускная способность.

Список источников

1. Красовских В.С., Клишин А.И. Высевающие устройства посевных машин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007. №8. С.48–51.

2. Горюшинский И.В. Повышение эффективности хранения зерновой продукции в бункерах/И.В. Горюшинский, И.Н. Мазько// Хранение и переработка сельхозсырья-2008.-№ 11.-С.77-78.

3. Третьяков, Г.М. Бункер с донными щелевыми отверстиями для зернохранилищ. Совершенствование конструкции и технологии использования сельскохозяйственной техники Текст. / Г.М. Третьяков, В.С. Горюшинский, А.В. Варламов/Сборник научных трудов, СГСХА, Самара, 1999. -133-136с.

4. Гячев Л.В. Основы теории бункеров – Новосибирск из-во Новосибирского университета, 1992. -309 с.

5. Гячев, Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / П.В. Гячев // М.: Машиностроение, 1968. - 184 с.

6. Гячев, Л.В. Основы теории бункеров и силосов. Алтайский политехнический институт им. И.И. Ползунова: Барнаул. - 1986. -86 с.

7. Богомягких В.А., Пепчук А.П. Интенсификация разгрузки бункерных устройств в условиях сводообразования зернистых материалов – Зерноград ВНИПТИМЭСХМ, 1996. – 164 с

8. О форме и условном диаметре реальных частиц зернового материала Богомягких В.А., Несмиян А.Ю., Климович А.С., Ляшенко А.Л., Скудина А.А. Вестник аграрной науки Дона. 2014. Т. 2. №26. С. 30-34. ISSN: 2075-6704.

9. Богомягких, В.А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов [Текст] / В.А. Богомягких // Издательство Ростовского университета, 1973. - 152 с.

10. Богомягких В.А., Ялтанцев В.Г., Семененко Т.Н. Процесс образования сводов в силосах и бункерах при истечении сыпучих материалов // В. кн.: Механика деформируемых систем в сельхозмашиностроении. - Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1974. – с. 115-164.

References

1. Krasovskikh V.S., Klishin A.I. Seeding devices of sowing machines // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2007. No. 8. pp.48–51.

2. Goryushinsky I.V. Improving the efficiency of storage of grain products in bunkers / I.V. Goryushinsky, I.N. Mazko // Storage and processing of agricultural raw materials - 2008. - No. 11. - P. 77-78.

3. Tretyakov, G.M. Bunker with bottom slotted openings for granaries. Improving the design and technology of using agricultural machinery. Text. / G.M. Tretyakov, V.S. Goryushinsky, A.V. Varlamov / Collection of scientific works, SGSKhA, Samara, 1999. -133-136s.

4. Gyachev L.V. Fundamentals of the theory of bunkers - Novosibirsk from Novosibirsk University, 1992. -309 p.

5. Gyachev, L.V. The movement of bulk materials in pipes and bunkers / P.V. Gyachev // M.: Mashinostroenie, 1968. - 184 p.

6. Gyachev, L.V. Fundamentals of the theory of bunkers and silos. Altai Polytechnic Institute. I.I. Polzunova: Barnaul. - 1986. -86 p.

7. Bogomyagkikh V.A., Pepchuk A.P. Intensification of unloading of bunker devices in the conditions of arch formation of granular materials - Zernograd VNIPTIMESHM, 1996. - 164 p.

8. On the shape and conditional diameter of real particles of grain material Bogomyagkikh V.A., Nesmiyan A.Yu., Klimovich A.S., Lyashenko A.L., Skudina A.A. Herald of agrarian science of the Don. 2014. Vol. 2. No. 26. pp. 30-34. ISSN: 2075-6704.

9. Bogomyagkikh, V.A. Theory and calculation of bunkers for granular materials [Text] / V.A. Bogomyagkikh // Rostov University Publishing House, 1973. - 152 p.

10. Bogomyagkikh V.A., Yaltantsev V.G., Semenenko T.N. The process of formation of arches in silos and bunkers during the outflow of bulk materials // V. book: Mechanics of deformable systems in agricultural engineering. - Rostov-on-Don: RISHM, 1974. - p. 115-164.

Информация об авторах

А.Г. Уварова – кандидат технических наук, доцент; Н.Е. Филатов – аспирант.

Information about the authors

A. Uvarova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; N. Filatov – graduate student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 12.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 19.12.2022