

ОБОСНОВАНИЕ ШИРИНЫ ВЫСЫПНОГО ОТВЕРСТИЯ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

JUSTIFICATION OF THE WIDTH OF THE OUTLET OF THE SCREW CONVEYOR AND DISTRIBUTOR

И.Е. БЫЧКОВ

А.И. КУПРЕНКО, д.т.н.

Т.В. БЫЧКОВА, к.п.н.

Х.М. ИСАЕВ, к.э.н.

Брянский государственный аграрный университет,
Брянская область, с. Кокино, Россия, kupreenkoai@mail.ru

I.E. BYCHKOV

A.I. KUPREENKO, DSc in Engineering

T.V. BYCHKOVA, PhD in Pedagogics

H.M. ISAEV, PhD in Economics

Bryansk State Agricultural Academy, Bryansk region, Kokino,
Russia, kupreenkoai@mail.ru

Предметом исследования является шнековый транспортер-распределитель зерна с высыпным отверстием вдоль его кожуха. Такая конструкция устраняет необходимость разравнивания зерновой насыпи, перемещения транспортера или использования поворотного лотка для равномерного распределения выгружаемого зерна. Целью исследования является нахождение зависимости ширины высыпного отверстия от параметров транспортера-распределителя. Изготовлена лабораторная установка и проведены исследования по истечению зерна пшеницы через высыпное отверстие различной ширины. Лабораторная установка представляет собой емкость из пластиковой прямоугольной трубы, открытой сверху. В нее вставлены на равном расстоянии поперечные мембраны. Они делят всю емкость по ее длине на отсеки. В днище трубы сделано высыпное отверстие в виде прорези постоянной ширины. Высыпное отверстие закрыто снизу выдвигающейся в бок заслонкой. Под высыпным отверстием установили лотки, каждый под своим отсеком, в которые высыпается зерно. Вынув задвижку, с помощью хронометражной видеозаписи засекали время, за которое происходило полное высыпание зерна через высыпное отверстие. Эксперимент проводили при различной ширине высыпного отверстия и при разной массе зерна в отсеках. Ширину высыпного отверстия меняли от 7 до 13 мм. Установлено, что в условиях ограниченной высоты столба зерна над отверстием скорость истечения через высыпное отверстие не зависит от высоты столба зерна над отверстием. Построена зависимость единичного потока зерна от ширины высыпного отверстия. При ширине высыпного отверстия, равной 7 мм, истечения зерна не происходит. Получено выражение, описывающее форму высыпного отверстия в зависимости от конструктивно-режимных параметров шнекового транспортера-распределителя. Построен график, демонстрирующий форму высыпного отверстия при заданных конструктивно-режимных параметрах шнекового транспортера-распределителя.

Ключевые слова: шнековый транспортер-распределитель, заполнение емкости, истечение зерна, форма высыпного отверстия.

The subject of the research is a screw conveyor-distributor of grain with an empty hole along its casing. This design eliminates the need for leveling the grain mound, moving the conveyor or using a rotary tray to evenly distribute the unloaded grain. The purpose of the study is to find the dependence of the width of the outlet hole on the parameters of the conveyor-distributor. A laboratory installation was made and studies were conducted on the expiration of wheat grain through a drain hole of various widths. Laboratory installation is a container made of plastic rectangular pipe open at the top. The transverse membranes are inserted at an equal distance into it. They divide the entire capacity along its length compartments. In the bottom of the pipe, a hole in the form of a slot of constant width is made. Eruptive hole is closed from the bottom of the side retractable flap. Under the discharge opening, trays were installed, each under its own compartment, into which the grain is poured. Having removed the valve, with the help of time-lapse videotape, the time was taken during which the grain was completely poured through the empty hole. An experiment with different width of the outlet holes and with different mass of grain in the compartments was conducted. The width of the hole was changed from 7 to 13 mm. It has been established that under conditions of limited height of the grain column above the hole, the flow rate through the drain hole does not depend on the height of the grain column above the hole. The dependence of a single grain flow on the width of an outlet is constructed. When the width of the outlet hole is 7 mm the outflow of grain does not occur. An expression is obtained that describes the shape of the outlet hole, depending on the design-mode parameters of the screw conveyor. A graph showing the shape of the outlet hole with the given design-mode parameters of the screw conveyor was constructed.

Keywords: screw conveyor and distributor, capacity filling, grain outflow, dump hole shape.

Введение

Для более полного заполнения емкостей для хранения зерна за счет выравнивания насыпи часто требуется применение ручного труда [1, 2]. Это увеличивает время простоя под грузовыми операциями, в связи с чем растут трудозатраты. Обычный шнековый транспортер в этом случае необходимо передвигать или использовать направляющие поворотные лотки.

В ряде работ [3, 4, 5] предложена конструкция шнекового транспортера-распределителя, обеспечивающего равномерное распределение зерна по всей длине заполняемой емкости за счет продольной прорези (высыпного отверстия) в нижней части кожуха транспортера для выгрузки зерна по всей его длине. Получена форма высыпного отверстия в виде трапеции с расширениями в начале и в конце высыпного отверстия (рис. 1).

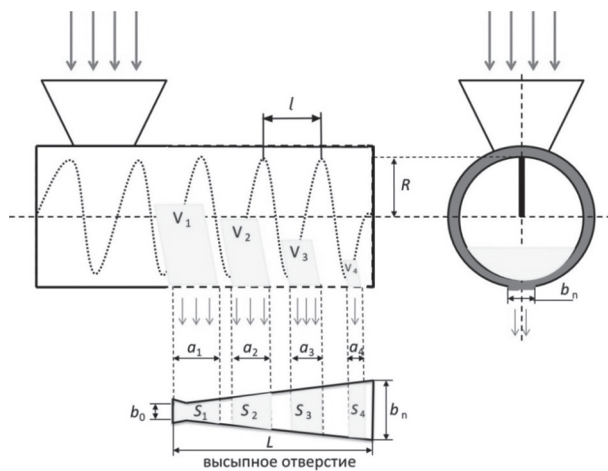


Рис. 1. Схема работы шнекового транспортера-распределителя и форма высыпного отверстия

В работах [3, 5] мы пришли к выводу, что площади S_1, S_2, \dots, S_n должны быть равны между собой с учетом коэффициентов расхода зерна k через высыпное отверстие для обеспечения равномерного распределения зерна вдоль всей длины L высыпного отверстия и, соответственно, обеспечения постоянного значения потока P (P – количество зерна объемом V , прошедшего за единицу времени t через площадь S)

$$P = k_1 S_1 = k_2 S_2 = \dots = k_n S_n = \text{const.} \quad (1)$$

Цель исследования

Определение коэффициентов расхода зерна k через высыпное отверстие и уточнение его формы.

Материалы, методы исследования и их обсуждение

Для определения коэффициентов расхода зерна k через высыпное отверстие был проведен лабораторный эксперимент.

В емкость из пластиковой прямоугольной трубы (рис. 2), открытой сверху, вставили на равном расстоянии поперечные мембраны (разделительные пластины). Тем самым всю емкость разделили по всей длине на семь отсеков шириной 60 мм. В днище трубы сделали высыпное отверстие в виде прорези постоянной ширины. Высыпное отверстие закрыли снизу выдвигающейся в бок заслонкой так, чтобы можно было быстро открыть и закрыть отверстие, а также для изменения его ширины. При закрытом высыпном отверстии засыпали зерно пшеницы одинаковым объемом и массой m в каждый из отсеков. Под высыпным отверстием установили примыкающие друг к другу лотки, каждый под своим отсеком, в которые будет высыпаться зерно. Вынув задвижку, с помощью хронометражной видеозаписи засекали время, за которое происходило полное высыпание зерна через высыпное отверстие.

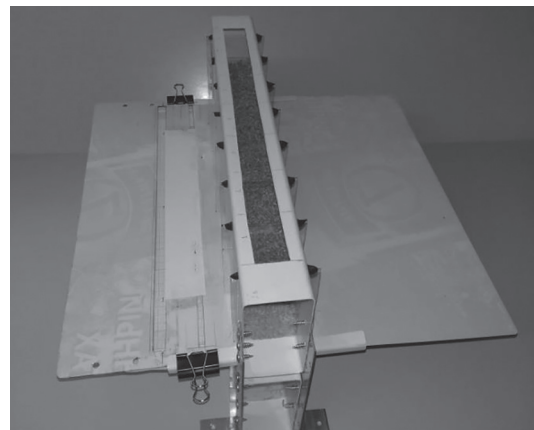


Рис. 2. Лабораторная установка по определению коэффициентов расхода зерна

Проводили эксперимент при следующих условиях:

– при постоянной ширине высыпного отверстия b засыпали заранее известные массы зерна m и измеряли время t высыпания из каждого отсека;

– меняли ширину высыпного отверстия b и повторяли эксперимент.

Ширину высыпного отверстия b в эксперименте меняли от 7 до 13 мм.

Далее известный объем зерна из каждого лотка делили на площадь высыпного отверстия, и на время истечения зерна через него. Тем самым находили значения единичного потока dP при определенной ширине прорези b . Зная P и S , из формулы (1) определяются значения коэффициентов расхода k .

Проведя эксперимент по определению коэффициентов проходимости k зерна через высыпное отверстие на каждом участке, мы получили следующие результаты:

– в условиях ограниченной высоты столба зерна над отверстием (в нашем случае 110 мм), скорость истечения через высыпное отверстие и, соответственно, поток P , не зависят от высоты столба зерна над отверстием;

– определено время высыпания t и поток P при различных значениях ширины высыпного отверстия b . Построена зависимость единичного потока dP от b (рис. 3);

– установлено, что коэффициент расхода k зерна через высыпное отверстие равен единичному потоку dP , который зависит от ширины высыпного отверстия b ;

– при ширине высыпного отверстия равной 7 мм истечения зерна не происходит.

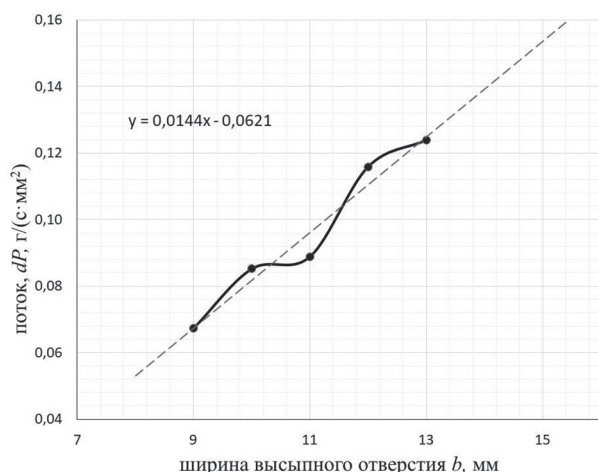


Рис. 3. Зависимость единичного потока dP от ширины высыпного отверстия b

Зависимость единичного потока dP от ширины высыпного отверстия b в результате аппроксимации экспериментальной кривой на рис. 3 рассчитывается по формуле:

$$dP = 0,0144b - 0,0621. \quad (2)$$

Из выражения (2) можно определить поток зерна, который будет проходить через высыпное отверстие шириной b на любом его участке от 0 до L .

Найдем зависимость ширины высыпного отверстия b от его длины a .

Принимая допущение, что площадь соприкосновения зерна с высыпным отверстием $S = a \cdot b$ (где a – длина загруженного высыпного отверстия, ограниченного межвитковым пространством шнека, b – средняя ширина высыпного отверстия в пределах a) находим поток P через эту площадь:

$$P = SdP = abdP. \quad (3)$$

Так как поток P величина постоянная ($P = const$), из (3) находим зависимость b от a :

$$b = P / (adP)$$

или с учетом выражения (2)

$$b = \frac{P}{a(0,0144b - 0,0621)}. \quad (4)$$

После преобразования выражения (4) получим квадратное уравнение:

$$0,0144b^2 - 0,0621b - \frac{P}{a} = 0. \quad (5)$$

Решением уравнения (5) будет

$$0,0144b^2 - 0,0621b - \frac{P}{a} = 0;$$

$$b = \frac{0,0621 + \sqrt{0,0621^2 + 4 \cdot 0,0144 \cdot P / a}}{2 \cdot 0,0144}. \quad (6)$$

Значение P вычисляется по формуле:

$$P = \rho_3 f \pi R^2 l^2 n / (60L), \quad (7)$$

где ρ_3 – объемная плотность зерна, $\rho_3 = 750 \dots 800$ г/дм³; f – коэффициент заполнения межвиткового пространства шнека, $f = 0,1 \dots 0,4$; R – радиус шнека, $R = 110$ мм; l – шаг шнека, $l = 65$ мм; n – частота вращения шнека, $n = 309$ мин⁻¹; L – длина высыпного отверстия, $L = 800$ мм.

Подставив выражение (7) в формулу (6), получим уравнение для нахождения ширины высыпного отверстия:

$$b = \frac{0,0621 + \sqrt{0,0621^2 + 4 \cdot 0,0144 \cdot \frac{\rho_3 f \pi R^2 l^2 n}{60 a L}}}{2 \cdot 0,0144}. \quad (8)$$

Предположив, что значение a меняется от величины шага шнека l до 1 мм (см. рис. 1), методом компьютерного моделирования [6] по уравнению (8) построим зависимость $b = b(a)$ при постоянном потоке $P = 80$ г/с (рис. 4).

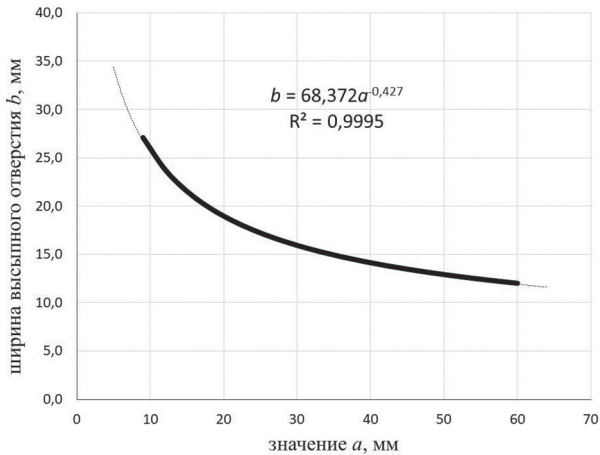


Рис. 4. Зависимость ширины высыпного отверстия $b = b(a)$

Линия тренда, практически совпадающая с графиком на рис. 4, описывает степенную зависимость ширины высыпного отверстия от значения a в виде:

$$b = 68,372a^{(-0,427)}. \quad (9)$$

Так как линия тренда с достаточно высокой точностью повторяет график функции (коэффициент детерминации $R^2 = 0,9995$), формулы (8) и (9) являются тождественными при постоянном потоке $P = 80$ г/с. Очевидно, что при новых значениях P также будет построена функция и найдена описывающая ее степенная зависимость. Производительность транспортера будет равна произведению P на число межвитковых пространств в пределах высыпного отверстия, которое определяется отношением L/l .

График зависимости $b = b(a)$, изображенный на рис. 4, описывает форму высыпного отверстия. Для визуализации высыпного отверстия (с учетом его расположения на рис. 1) преобразуем график функциональной зависимости (9) на рис. 4 путем его сжатия, симметрии относительно координатных осей и параллельного переноса. В результате получаем уравнение формы высыпного отверстия при значениях a от l до 1 и $P = 80$ г/с в виде (рис. 5):

$$b = \pm 34,186(ma + L)^{-0,427}, \quad (10)$$

где $m = L/l$ – коэффициент растяжения графика вдоль оси абсцисс.

Для определения максимально возможной площади высыпного отверстия в межвитковых пространствах по длине транспортера разделим график на рис. 5 по оси L на равное число частей согласно значению m . Виток шнека, расположенный в начале высыпного отверстия, принимаем за нулевой. Ширина высыпного отверстия напротив нулевого витка будет равна значению b при $L = 0$ (рис. 5). Тогда ширина высыпного отверстия напротив первого по ходу витка будет равна значению b в первом сечении графика на рис. 5. Ширина высыпного отверстия напротив второго по ходу витка будет равна значению b во втором сечении графика и т.д. Зная начальную и конечную ширину высыпного отверстия в конкретном межвитковом пространстве, определяем максимально возможную площадь высыпного отверстия.

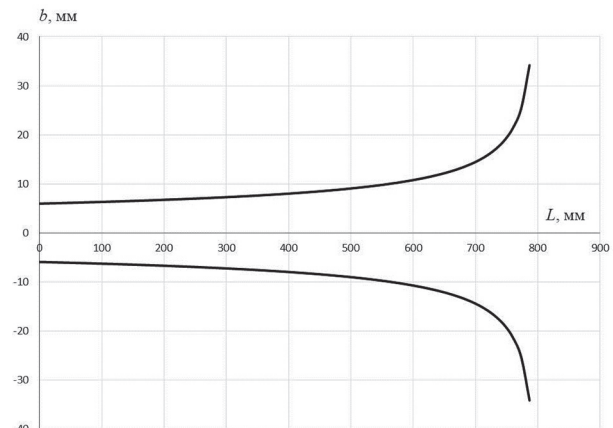


Рис. 5. Форма высыпного отверстия

На практике для обеспечения начального равномерного распределения зерна ширина высыпного отверстия под нулевым витком согласно рис. 1 должна быть несколько увеличена из-за параболической траектории падения высыпающегося зерна.

Выводы

В ходе исследования нами получено выражение (8), определяющее ширину высыпного отверстия. График зависимости $b = b(a)$, изображенный на рис. 5, демонстрирует форму высыпного отверстия при заданных конструктивно-режимных параметрах шнекового транспортера-распределителя.

Дальнейшим направлением исследований является экспериментальная проверка полученной формы высыпного отверстия и установление возможно еще не выявленных кон-

структивно-режимных параметров шнекового транспортера-распределителя, обеспечивающих равномерное распределение зерна по всей длине высыпного отверстия.

Литература

1. Мазько Н.Н. К вопросу об исследованиях закономерностей истечения сыпучих материалов из бункеров // Тезисы докл. XXX межвузовской науч. конф. студентов и аспирантов. Самара: СамГАПС, 2003. С. 154–155.
2. Мазько Н.Н. Перспективные направления исследований вопросов функционирования емкостей для сыпучих материалов // Дни студенческой науки. Сб. науч. трудов студентов и аспирантов. Выпуск 7. Самара: СамГАПС, 2006. С. 45–46.
3. Бычков И.Е., Купреенко А.И., Исаев Х.М. К обоснованию конструктивно-режимных параметров шнекового транспортера-распределителя // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Сборник научных работ. Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2016. С. 56–62.
4. Пат. на полезную модель 169064 РФ, МКИЗ В65G 65/32. Устройство для загрузки емкости сыпучим материалом / А.И. Купреенко, И.Е. Бычков, Х.М. Исаев. № 2016128176; заявлено 11.07.16; опубл. 02.03.17, Бюл. № 7.
5. Бычков И.Е. К обоснованию формы высыпного отверстия шнекового транспортера-распределителя // Science, Technology and Life – 2017: Proceedings of articles the IV International Scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Russia, Moscow, Decemder 24–25, 2017. 2018. S. 18–28.
6. Бычкова Т.В. Математика: учебное пособие: Изд-во Брянского ГАУ, 2017. 58 с.

References

1. Maz'ko N.N. Studies of the flow patterns of bulk materials from bunkers. Tezisy dokl. HKHKH mezhvuzovskoj nauch. konf. studentov i aspirantov [Abstracts XXX interuniversity scientific. conf. of undergraduate and graduate students]. Samara: SamGAPS Publ., 2003, pp. 154–155 (in Russ.).
2. Maz'ko N.N. Promising areas of research on the functioning of bulk materials. Dni studencheskoj nauki. Sb. nauch. trudov studentov i aspirantov. [Days of student science. Collection of scientific works of students and postgraduates] Vypusk 7. Samara: SamGAPS Publ., 2006, pp. 45–46 (in Russ.).
3. Bychkov I.E., Kupreenko A.I., Isaev H.M. Justification of the design-mode parameters of a screw conveyor-distributor. Konstruirovanie, ispol'zovanie i nadezhnost' mashin sel'skohozyajstvennogo naznacheniya. Sbornik nauchnyh rabot [Design, use and reliability of agricultural machinery. Collection of scientific papers]. Bryansk: Izdatel'stvo Bryanskogo GAU Publ., 2016, pp. 56–62 (in Russ.).
4. Pat. na poleznuyu model' 169064 RF, MKI3 B65G 65/32. Ustrojstvo dlya zagruzki emkosti sypuchim materialom [Bulk material loading device]. A.I. Kupreenko, I.E. Bychkov, H.M. Isaev. No 2016128176; zayavleno 11.07.16; opubl. 02.03.17, Byul. No 7.
5. Bychkov I.E. Substantiation of the shape of the outlet hole of the screw conveyor-distributor. Science, Technology and Life – 2017: Proceedings of articles the IV International Scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Russia, Moscow, Decemder 24–25, 2017. 2018. S. 18–28.
6. Bychkova T.V. Matematika [Mathematics]: uchebnoe posobie. Izd-vo Bryanskogo GAU Publ., 2017. 58 p.