

EDN: VAYVPG

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-41-48

Научная статья

УДК 631.362.3



Синхронизация взаимодействия дозатора с работой сортировочного сита зерен маша

Абдукарим Атхамович Абдурахманов¹,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, руководитель лаборатории,
e-mail: abdukarim19.08@mail.ru;

Азамат Давронович Расулов²,
доктор философии по техническим наукам (PhD),
доцент,
e-mail: AzamatRasulov1986@gmail.com;

Дилшод Холмуратович Игамбердиев¹,
базовый докторант,
e-mail: disha7577@mail.ru

¹Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Ташкентская обл., Янгиюльский р-н, Республика Узбекистан;

²Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», г. Ташкент, Республика Узбекистан

Реферат. В зерне маша комбайнового сбора содержится много посторонних примесей, в том числе мелкие и незрелые зерна. По этой причине зерно необходимо очищать и сортировать по размерам. Разработанное сортировочное сито цилиндрического типа с винтовым распределителем внутри должно быть снабжено дозирующим устройством, чтобы исходный материал из бункера поступал на сортировку в соответствии с режимом работы сортировочного сита. (*Цель исследования*) Разработать теоретические предпосылки синхронизации режимов работы дозирующего устройства лопастного типа и сортировочного сита для очистки от сорных примесей и разделения на фракции зерен маша комбайнового сбора. (*Материалы и методы*) Подача сыпучего материала дозирующим устройством всегда происходит порционно. Установленный на сортировочном сите винтовой распределитель также имеет порционный принцип действия. На этом основании возникает необходимость синхронизации их взаимодействия. (*Результаты и обсуждение*) Основными характеристиками работы лопастного дозатора являются производительность и коэффициент заполнения. Установлено, что коэффициент заполнения дозатора можно приравнять к максимально возможному значению, которое определяется конструктивными параметрами, поскольку сортировочное сито работает с небольшой частотой вращения. Для синхронной работы дозатора с сортировочным ситом их производительности должны быть равны, а также необходимо обеспечить взаимную кратность частот их вращения. Высокий коэффициент кратности частоты вращения дозатора к частоте вращения сортировочного сита с винтовым распределителем вынуждает увеличивать частоту вращения дозатора, что приводит к повышению потребления энергии и повреждению дозируемого материала. С увеличением количества лопастей дозатора снижается необходимая частота его вращения. Частоте вращения дозатора, равной 6 об/мин, соответствует наружный радиус дозатора 59,6 мм, а при 4 об/мин радиус дозатора равен 71,9 мм. В первом случае для синхронной работы дозатора с сортировочным ситом коэффициент кратности должен быть равен 3, во втором случае – 2. Практические значения наружного радиуса дозирующего аппарата будут выбраны по результатам экспериментальных исследований с условием обеспечения синхронности. (*Выводы*) Для эффективной очистки и сортировки зерен маша комбайнового сбора цилиндрическое сортировочное сито должно снабжаться дозатором, подающим исходный материал из бункера в соответствии с режимом работы сита. Порционный характер работы сортировочного сита с винтовым распределителем внутри и дозатора лопастного типа позволяет установить условие синхронизации их взаимодействия. С целью снижения потребления энергии и повреждения зерна дозатором необходимо применять более низкие коэффициенты кратности частоты вращения дозатора к частоте вращения цилиндрического сортировочного сита.

Ключевые слова: зерно маша, примеси, сортировочное сито, винтовой распределитель, дозатор лопастного типа, синхронизация, режим работы, производительность, коэффициент заполнения, коэффициент кратности.

■ **Для цитирования:** Абдурахманов А.А., Расулов А.Д., Игамбердиев Д.Х. Синхронизация взаимодействия дозатора с работой сортировочного сита зерен маша // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 41-48. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-41-48. EDN: VAYVPG.

Synchronizing the Interaction Between the Metering Unit and the Mung Bean Sorting Sieve

Abdulkarim A. Abdurakhmanov¹,
PhD (technical sciences), senior researcher,
head of laboratory,
e-mail: abdukarim19.08@mail.ru;

Azamat D. Rasulov²,
PhD (technical sciences), associate professor,
e-mail: AzamatRasulov1986@gmail.com;

Dilshod H. Igamberdiev¹,
basic doctoral student,
e-mail: disha7577@mail.ru

¹Scientific Research Institute of Agriculture Mechanization, Yangiyol district, Tashkent region, Republic of Uzbekistan;

²National Research University Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract. Harvested mung bean grain contains a significant amount of extraneous impurities, including small and unripe grains. Therefore, the grain must be cleaned and sorted by size. The developed cylindrical sorting sieve with a screw distributor inside must be equipped with a metering unit to ensure that the raw material from the hopper is fed into the sorting process in accordance with the sieve's operating mode. (*Research purpose*) To develop theoretical foundations for synchronizing the operating modes of a paddle-type metering unit and a sorting sieve for removing weed impurities and fractionating harvested mung bean grains. (*Materials and methods*) The feeding of bulk material by the metering unit is always batchwise. The screw distributor installed inside the sorting sieve also operates in a batch mode. Based on this principle, their synchronization is necessary. (*Results and discussion*) The main performance characteristics of the paddle-type metering unit are throughput capacity and fill factor. It was established that the fill factor of the metering unit can be considered equal to its maximum possible value, which is determined by its design parameters, since the sorting sieve operates at a low rotational speed. For synchronised operation of the metering unit and the sorting sieve, their throughput capacities must be equal, and their rotational speeds must be multiples of each other. A high multiplicity ratio of the metering unit's rotational speed to that of the cylindrical sieve sorter with a screw distributor requires an increase in the metering unit's speed, which leads to higher energy consumption and potential damage to the dosed material. As the number of blades in the metering unit increases, the required rotational speed decreases. A metering unit rotational speed of 6 rpm corresponds to an outer radius of 59.6 mm, while a speed of 4 rpm corresponds to a radius of 71.9 mm. In the first case, for synchronization of the metering unit with the sorting sieve, the multiplicity ratio must be 3, and in the second case, it must be 2. The actual values of the outer radius of the metering unit will be determined based on the results of experimental studies to ensure proper synchronization. (*Conclusions*) For efficient cleaning and sorting of mung bean grains harvested by a combine, the cylindrical sorting sieve must be equipped with a metering unit that delivers the raw material from the hopper in accordance with the sieve's operating mode. The batch operation of both the sorting sieve with an internal screw distributor and the blade-type metering unit enables their synchronization. To reduce energy consumption and minimize grain damage, lower multiplicity ratios between the metering unit and the cylindrical sorting sieve should be maintained.

Keywords: mung bean grain, impurities, sorting sieve, screw distributor, blade-type doser, synchronization, operating mode, productivity, fill factor, multiplicity ratio.

■ **For citation:** Abdurakhmanov A.A., Rasulov A.D., Igamberdiev D.H. Synchronizing the interaction between the metering unit and the mung bean sorting sieve. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 41-48 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-41-48. EDN: VAYVPG.

В собранном комбайнами урожае маша содержится много непригодных для применения зерен и посторонних примесей. Это незрелые, сломанные, смятые зерна маша, минеральные примеси (земля, камушки), части стеблей растительности, семена сорных растений и другие мелкие примеси. Сами семена маша имеют разные размеры. По этой причине необходимы очистка от ненужных примесей и сортировка зерен по размерам [1, 2].

Сортировочное сито цилиндрического типа для очистки и сортировки зерен маша состоит из трех секций. В первой секции отделяются мелкие примеси от основной массы, во второй – зерна маша мелкой фракции, в третьей – зерна маша крупной фракции. Крупные сорные примеси выходят в последнюю очередь [3, 4].

На внутренней стенке сортировочного сита закреплен винтовой распределитель материала по

всей длине установки. Винтовой распределитель по мере вращения захватывает определенный объем материала и постепенно перемещает его вдоль установки. Материал должен поступать из бункера равномерно сплошным потоком или порционно при условии синхронизации с частотой вращения сортировочного сита с винтовым распределителем. Для стабильной работы и равномерной загрузки материала в сортировочном сите необходим дозирующий механизм. В этом случае винтовой распределитель будет захватывать одинаковые по массе порции.

Цель исследований. Разработать теоретические предпосылки, обеспечивающие синхронизацию режимов действия дозирующего устройства лопастного типа и сортировочного сита цилиндрического типа для очистки от сорных примесей и разделения на фракции зерен маша комбайнового сбора.

Материалы и методы. Дозирование сыпучего материала сплошным потоком мы считаем равномерным всегда с определенной степенью точности. Поток сыпучего материала не может быть идеально равномерным, поскольку его состав всегда разнородный, и даже самое точное дозирующее устройство в той или иной степени подает материал порционно. Исходя из этого, а также в связи с наличием в сортировочном сите винтового распределителя порционного действия нами выбран вариант порционной подачи материала с синхронизацией процесса дозирования с режимом работы сортировочного сита.

Известно, что дозаторы лопастного типа действуют по порционному принципу подачи материала [5, 6]. Разделение потока дозируемого материала на порции происходит из-за наличия лопастей. Если межлопастные пространства полностью будут заполнены дозируемым материалом, лопасти создают перерыв в подаче материала, придавая потоку порционный характер. Если межлопастные пространства заполнены не полностью, то на время, пока лопасти доходят до разгрузочного окна, поток дозируемого материала задерживается, что также придает потоку порционный характер.

На [рисунке 1](#) представлена схема лопастного дозатора.

Результаты и обсуждение. Лопасти дозатора образуют с корпусом замкнутое пространство определенного объема, в которое может поступить только определенное количество материала. Одной из характеристик лопастного дозатора является коэффициент заполнения k (Утениязов П.А. Обоснование параметров устройства для локального внесения органических удобрений на полях под бахчевые культуры: автореф. ... д-ра философии по техн. наукам *PhD*. Гульбахор, 2020. С. 28). С технической точки зрения при максимальном значении этого ко-

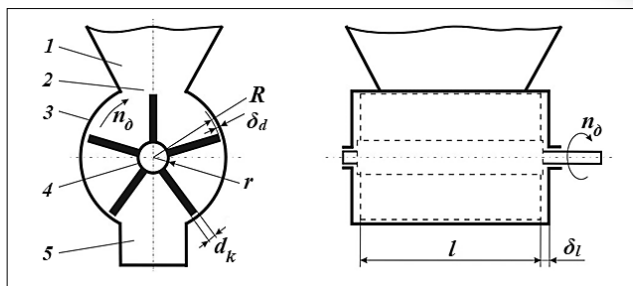


Рис. 1. Схема лопастного дозатора: 1 – бункер; 2 – загрузочное окно дозатора; 3 – корпус дозатора; 4 – лопастной барабан; 5 – разгрузочное окно дозатора

Fig. 1. Diagram of the blade-type metering unit: 1 – hopper; 2 – metering unit loading port; 3 – metering unit housing; 4 – blade drum; 5 – metering unit discharge port

эффициента дозатор будет работать с максимальной производительностью. Следовательно, при обосновании параметров дозирующего механизма мы должны стремиться к возможно большему значению коэффициента заполнения. При достаточно медленном вращении межлопастное пространство полностью заполнится материалом и коэффициент k стремится к своему максимуму, т.е. $k \rightarrow 1$. Если дозатор будет вращаться очень быстро, то материал не успевает заполнить пространство между лопастями, т.е. с увеличением частоты вращения дозатора $k \rightarrow 0$. Надо отметить, что всегда $k < 1$, поскольку лопасти и вал барабана занимают определенный объем в конструкции дозатора.

Максимальное значение коэффициента заполнения дозатора можно определить через соотношение объема, занимаемого валом и лопастями дозатора ($V_{\text{л}}$), к объему корпуса дозатора ($V_{\text{к}}$) по выражению:

$$k_{\max} = \frac{l[\pi r^2 + z(R-r)d_k]}{\pi(R+\delta_d)^2 \times (l+\delta_l)}, \quad (1)$$

где l – длина барабана, м; r – радиус вала барабана, м; z – количество лопастей; R – наружный радиус барабана, м; d_k – толщина лопасти, м; δ_d – зазор между лопастями и корпусом по окружности, м; δ_l – зазор между лопастями и корпусом по длине, м.

Зазоры δ_d и δ_l должны быть минимальными. Если считать, что они ничтожно малы по сравнению с другими размерами дозатора, можно ими пренебречь. Тогда формула (1) принимает упрощенный вид:

$$k_{\max} = 1 - \frac{zd_k}{\pi(R+r)}. \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что чем больше толщина и количество лопастей, тем меньше коэффициент заполнения дозатора, и наоборот, чем больше радиус вала и наружный радиус барабана, тем выше коэффициент заполнения, т.е. значение $k_{\max}$ определяется конструктивными параметрами дозирующего барабана.

При обосновании параметров и режима действия дозатора основным показателем работы выступает его производительность. Производительность дозатора должна быть равна производительности сортировочного сита:

$$Q_d = Q_c. \quad (3)$$

Производительность дозатора может быть рассчитана по выражению:

$$Q_d = k \cdot \pi (R^2 - r^2) \cdot l \cdot \rho \cdot n_d \cdot 60, \text{ кг/ч}, \quad (4)$$

где ρ – плотность дозируемого материала (зерна ма-ша с примесями), кг/м^3 ; n_d – частота вращения до-затора, об/мин .

Из условия (3) с учетом формулы (4):

$$n_d = \frac{Q_d}{k \cdot \pi (R^2 - r^2) \cdot l \cdot \rho \cdot 60}. \quad (5)$$

В этом выражении неизвестно значение k . Для его определения рассмотрим процесс истечения сы-пучего материала через окно разгрузки бункера [7-9], которое одновременно служит загрузочным окном дозатора. При этом форму бункера прини-маем как усеченную пирамиду с уменьшающимся по высоте нижним основанием со следующими па-раметрами: R_1, R_2 – размеры большого основания пирамиды, м; r_1, r_2 – размеры меньшего основания пирамиды, м; H – высота пирамиды, м; α_1, α_2 – углы наклона соответствующих сторон пирамиды, град (рис. 2).

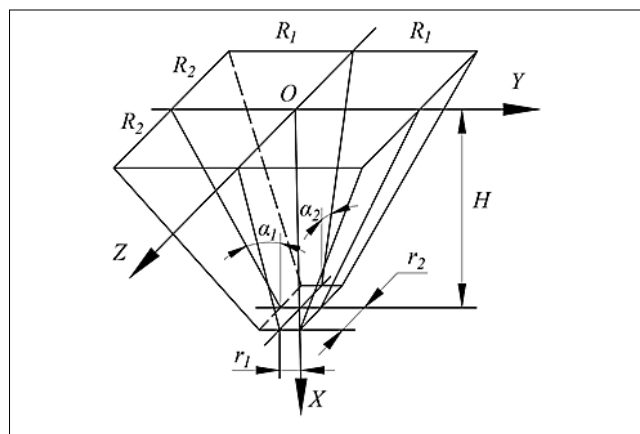


Рис. 2. Форма и основные размеры бункера
Fig. 2. Hopper shape and key dimensions

Уравнение движения сыпучего материала вну-три бункера можно записать следующим образом (Гячев П.В. Основы теории бункеров. Новосибирск. – Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. 310 с.):

$$\frac{dq}{dt} - \frac{F_0'}{F_0^2} q^2 = g F_0, \quad (6)$$

где q – скорость истечения сыпучего материала, м/с ; $F(x)$ – площадь горизонтального сечения бун-

кера, проходящего через точку x по оси X , м^2 ; $F_0 = F(H)$ – площадь сечения выходного окна бун-кера, м^2 ; $F_0' = F'(H)$ – производная функции $F = F(x)$ по оси X , соответствующая сечению выходного ок-на бункера при $x = H$; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Горизонтальные сечения бункера имеют форму прямоугольника. Описывая их математическими уравнениями, получим выражение для определе-ния скорости истечения сыпучего материала из бун-кера:

$$q = \sqrt{\frac{E}{D}} \cdot \text{th} \sqrt{ED} t, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (7)$$

где $D = \frac{\text{tg} \alpha_1 r_2 + \text{tg} \alpha_2 r_1}{4 r_1^2 r_2^2} = \text{const}$ и $E = 4 g r_1 r_2 = \text{const}$.

В соответствии со свойствами гиперболическо-го тангенса выражение (7) всегда имеет растущий характер и стремится к граничному значению

$$q_{cp} = \sqrt{\frac{E}{D}}.$$

Пропускная способность выходного окна бун-кера определяется как произведение скорости ис-течения q сыпучего материала из бункера и его на-сыпной плотности ρ . Тогда с учетом (7):

$$Q = \rho \sqrt{\frac{E}{D}} \cdot \text{th} \sqrt{ED} t, \text{ кг/с}. \quad (8)$$

Имеется прямая взаимосвязь между пропускной способностью бункера и ее формой [10-12]. Опре-деляем пропускную способность бункера с формой усеченной пирамиды, сечение выходного окна ко-торого имеет прямоугольную форму. Известно, что для исключения сводообразования при истечении сыпучих материалов из бункеров размеры выход-ного окна должны удовлетворить условию $d/d_1 > 0,2$ [13, 14], где d – максимальный размер куса сы-пучего материала, d_1 – ширина выходного окна бун-кера. Известен также [3] максимальный размер се-мян ма-ша, культивируемого в Узбекистане: $d = 7,42 \text{ мм}$. Следовательно, ширина выходного окна бункера должна быть не менее 37 мм, т.е. $d_1 > 37 \text{ мм}$. Исхо-дя из вышеизложенного, задаем разные значения ширины выходного окна бункера от 40 до 70 мм с шагом 10 мм, т.е. $r_1 = 0,020; 0,025; 0,030; 0,035 \text{ м}$, а длину принимаем постоянной и равной 200 мм, т.е. $r_2 = 0,1 \text{ м}$.

Углы наклона бункера должны удовлетворить условию $\alpha_1 = \alpha_2 < 90 - \varphi$, где φ – угол внешнего тре-ния дозируемого материала по стали. Основываясь на вышеприведенных данных, принимаем началь-ные параметры семян ма-ша с примесями: $\varphi = 22^\circ 36'$, $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$. Следовательно, можно принять $\alpha_1 = \alpha_2 = 65^\circ$. Кроме того, известны основные показатели и ре-жим работы цилиндрического сита для очистки и

сортировки зерен маша: производительность $Q_c = 0,167$ кг/с (600 кг/ч) и частота вращения $n_c = 10$ об/мин [3].

Пользуясь выражением (8) при вышеприведенных значениях параметров построим графики зависимостей пропускной способности (Q) разгрузочного окна бункера от времени истечения (t) при $r_2 = 0,1$ м (рис. 3).

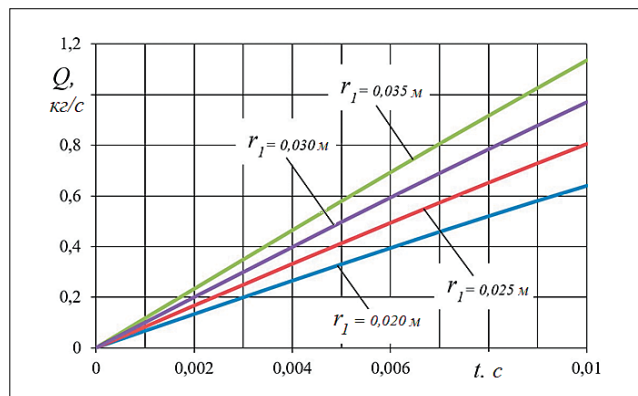


Рис. 3. Зависимость пропускной способности (Q) выходного окна бункера от времени истечения (t) при $r_2 = 0,1$ м

Fig. 3. Relationship between the hopper outlet throughput capacity (Q) and outflow time (t) at $r_2 = 0.1$ m

Как видно из графиков, пропускная способность выходного окна бункера, равная производительности сортировочного сита $0,167$ кг/с, при ширине выходного окна $r_1 = 0,020$ м достигается за время $t = 0,0025$ с, а при ширине $r_1 = 0,035$ м за время $t < 0,0015$ с.

Если частоту вращения дозирующего барабана принимать в пределах, не превышающих частоту вращения цилиндрического сортировочного сита, например $n_d = 10$ об/мин, то за такой короткий промежуток времени, как $t = 0,0025$ с, лопасти барабана могут повернуться на угол всего $0,15^\circ$. Это означает, что пропускная способность выходного окна бункера при наших заданных размерах и режиме работы дозирующего барабана значительно больше необходимой производительности последнего. Поэтому, основываясь на конструктивных соображениях, принимаем ширину выходного окна бункера $r_1 = 0,02$ м. При этом коэффициент заполнения дозатора можем принимать равным конструктивно максимальному коэффициенту, т.е. $k = k_{\max}$.

Синхронность взаимодействия дозирующего механизма с сортировочным ситом обеспечивается при условии кратности частоты вращения дозирующего механизма частоте вращения сортировочного сита [10, 12]. В дозирующем механизме лопасти разделяют поток материала на порции. Цилиндрическое сортировочное сито за счет наличия винтового распределителя тоже работает пор-

ционно. Причем винтовой распределитель является однозаходным, т.е. за один оборот сортировочного сита он захватывает одну порцию сортируемого материала. На этом основании мы можем утверждать, что для обеспечения синхронности взаимодействия дозатора с сортировочным ситом должно соблюдаться равенство:

$$zn_d = K n_c, \quad (9)$$

где K – коэффициент кратности.

Пользуясь равенством (9) при значении коэффициента кратности от 1 до 4, принимая при этом $n_c = 10$ об/мин, построены графики зависимости частоты вращения дозатора (n_d) от количества лопастей (z) на дозаторе (рис. 4). При этом количество лопастей принимали равным от 3 до 8 по следующим техническим соображениям:

- при количестве лопастей 1 или 2 сложно будет исключить просыпание материала из бункера при прекращении вращения дозатора;
- количество лопастей более 8 нецелесообразно, поскольку речь идет о сравнительно небольших объемах дозируемого материала, а также чем больше количество лопастей, тем выше вероятность повреждения дозируемого материала.

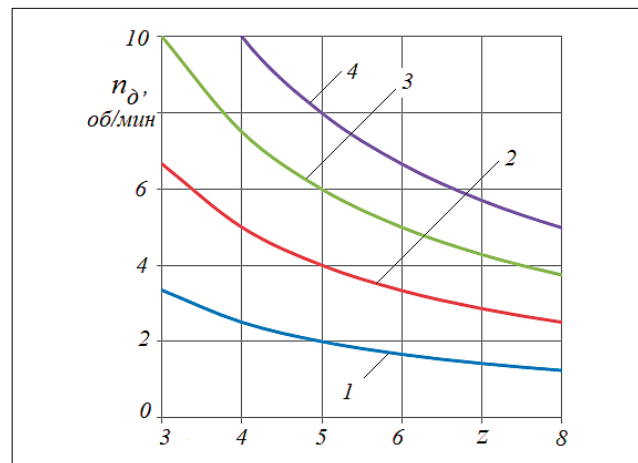


Рис. 4. Зависимость частоты вращения дозатора (n_d) от количества лопастей (z) при $n_c = 10$ об/мин и коэффициенте кратности: 1 – $K = 1$; 2 – $K = 2$; 3 – $K = 3$; 4 – $K = 4$

Fig. 4. Dependence of the metering unit rotation speed (n_d) on the Number of Blades (z) at $n_c = 10$ rpm and Multiplicity Factor: 1 – $K = 1$; 2 – $K = 2$; 3 – $K = 3$; 4 – $K = 4$

Из графика видно, что независимо от коэффициента кратности с увеличением количества лопастей снижается необходимая частота вращения дозатора. Также можно утверждать, что высокий коэффициент кратности вынуждает применить более высокую частоту вращения. Этот график можно применить как номограмму для определения требуемой частоты вращения конкретного дозато-

ра с заданным количеством лопастей (z) на барабане. Например, если $z = 5$, то при коэффициенте кратности $K = 1$ частота вращения дозатора должна быть $n_d = 2$ об/мин, при $K = 2$, $n_d = 4$ об/мин и при $K = 3$ $n_d = 6$ об/мин. Если предположить, как частный случай, что у дозирующего барабана и сортировочного сита будет одинаковая частота вращения, то по графику видно, что этому условию отвечает трехлопастной дозатор при $K = 3$ или четырехлопастной дозатор при $K = 4$.

При выборе наиболее оптимального варианта необходимо учитывать производительность сортировочного сита в соответствии с равенством (3), из которого получено выражение (5). Пользуясь выражением (5), построены графики изменения частоты вращения дозатора в зависимости от величины наружного радиуса (R) дозирующего барабана, когда $z = 4, 5$ и 6 при условии обеспечения одинаковой производительности $Q_d = Q_c$ (рис. 5). Длину дозирующего барабана принимаем равной длинной стороне выходного окна бункера, т.е. $l = 2r_2 = 0,2$ м, конструктивно принимаем радиус вала дозирующего барабана $r = 0,015$ м и толщину лопасти $d_k = 0,003$ м, которые влияют на величину $k_{\max}$.

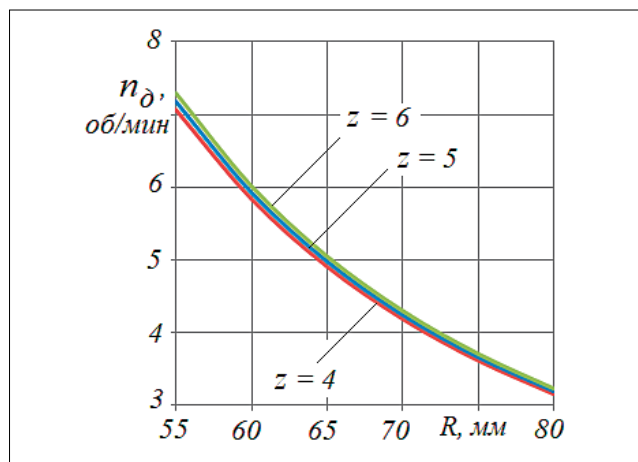


Рис. 5. Зависимость частоты (n_d) вращения дозатора от наружного радиуса (R) дозирующего барабана

Fig. 5. Relationship between the metering unit rotation speed (n_d) and the outer radius (R) of the metering drum

Из графика видно, что при равных значениях других параметров и режима работы дозатора при условии обеспечения заданной производительности дозирования увеличение наружного радиуса (R) дозирующего барабана приводит к возможности снижения частоты его вращения (n_d). Малая частота вращения, когда коэффициент заполнения дозатора максимален, способствует получению максимальной производительности дозирующего механизма. Кроме того, на малых оборотах механизмов минимальны потребление энергии и степень повреждения дозируемого материала.

Когда количество лопастей $z = 5$, то при $R = 55$ мм частота вращения дозатора должна быть $n_d = 7,18$ об/мин, а при $R = 75$ мм $n_d = 3,66$ об/мин, т.е. почти в два раза меньше, чем при $R = 55$ мм.

По графику на рисунке 5 можно определить необходимый наружный радиус дозирующего барабана при вышеприведенных других параметрах, который соответствует, например, количеству лопастей $z = 5$. Частоте вращения дозирующего барабана $n_d = 6$ об/мин соответствует наружный радиус барабана $R = 59,6$ мм, а при $n_d = 4$ об/мин $R = 71,9$ мм. В первом случае для синхронной работы дозатора с сортировочным ситом коэффициент кратности должен быть $K = 3$, во втором случае $K = 2$. Практические значения наружного радиуса дозирующего барабана будут выбраны по результатам экспериментальных исследований с условием обеспечения синхронности.

Выводы

Для эффективной очистки и сортировки зерен маша от незрелых, поврежденных семян и сорных примесей цилиндрическое сортировочное сито должно снабжаться дозатором, подающим исходный материал из бункера в соответствии с режимом и характером работы сортировочного сита.

Порционный характер работы цилиндрического сортировочного сита с винтовым распределителем и дозатора лопастного типа позволяет установить условие синхронизации их взаимодействия при очистке и сортировке зерен маша комбайнового сбора.

Высокий коэффициент кратности частоты вращения дозатора к частоте вращения цилиндрического сортировочного сита вынуждает применить более высокие частоты вращения, что приведет к повышению потребления энергии и повреждению материала дозатором. С увеличением количества лопастей дозатора снижается необходимая частота его вращения.

Авторы выражают благодарность главному специалисту по информационно-коммуникационным технологиям и цифровизации Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства А.Д. Субанбаеву за оказанное содействие при работе над данной статьей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дринча В.М., Ценч Ю.С. Основы и перспективы развития технологий послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. N14(4). С. 17-25. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-17-25.
2. Хамуев В.Г., Герасименко С.А. Обоснование конструктивно-компоновочной схемы гравитационно-пневматического очистителя семян сои // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. N16(3). С. 27-32. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-3-27-32.
3. Rasulov A., Abduraxmanov A., Igamberdiev D., Idrisov Kh. Primary cleaning machine for small and medium-sized mung bean grains for farms and peasant farms. *BIO Web of Conferences*. 78, 06006. MTSITVW. 2023. DOI: 10.1051/bioconf/20237806006.
4. Тарасенко А.П., Оробинский, Гиевский А.М. и др. Снижение травмирования зерна при послеуборочной обработке // *Вестник аграрной науки Дона*. 2019. N1 (45). С. 63-68. EDN: VDYIER.
5. Лепёшкин Н.Д., Мижурин В.В., Савчук С.В. Обоснование типа централизованной системы посева и ее элементов для широкозахватной зерновой сеялки // *Вестник Брестского государственного технического университета*. 2021. N1(124). С. 43-48. DOI: 10.36773/1818-1212-2021-124-1-43-48.
6. Воронина М.В. Показатели работы высевашающего аппарата для мелкосеменных культур // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2009. N 7. С. 8-9. EDN: KYZBLN.
7. Лобанов В.И., Чухлебова А.В., Гаршин И.А. Исследование процесса истечения сыпучих материалов из бункеров. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021. Vol. 4-1(55). 47-49. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-4-1-47-49.
8. Мелехина К.А., Ананьев П.П., Плотникова А.В., Шестак С.А. Математическая модель процесса усреднения свойств сыпучих материалов при их истечении // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020. 8(2). DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.024.
9. Zhang X., Tao G., Zhu Zh. Laboratory study of the influence of dip and ore width on gravity flow during longitudinal sublevel caving. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. 103:179-185. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.01.039.
10. Тишанинов Н.П., Анашкин А.А., Емельянович С.В. Обеспечение качества триерной очистки зерна за счет авторегулирования режимов работы // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2021. N4(56). С. 67-75. DOI: 10.35694/YARCX.2021.56.4.012.
11. Krzysiak Z., Skic A., Samociuk W. et al. Effect of sieve drum inclination angle on wheat grain cleaning in a novel rotary cleaning device. *Transaction of ASABE*. 2017. Vol. 60. N5. 1751-1758. DOI: 10.13031/trans.12110.
12. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Взаимосвязь производительности триера с режимами работы // *Наука в Центральной России*. 2018. N3 (33). С. 12-20. EDN: OVNUZG.
13. Диктерук М.Г., Кравчук В.Т., Заслуженный А.С., Човнюк Ю.В. Исследование закономерностей движения сыпучих материалов в вертикальных емкостях (силосы/бункеры): мониторинг статического напряженного состояния и анализ истечения по второй форме в общей постановке // *Вестник Херсонского национального технического университета*. 2018. Т. 1. N3(66). С. 55-73.
14. Воробьев А.А., Мигров А.А. Анализ и выбор геометрических параметров бункера для изучения процесса выгрузки сыпучих материалов // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2022. Т. 19. Вып. 1. С.97-104. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-1-97-104.

REFERENCES

1. Drincha V.M., Tsench Yu.S. Fundamentals and prospects for the technologies development for post-harvest grain processing and seed preparation. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. N14(4). 17-25 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-17-25.
2. Khamuev V.G., Gerasimenko S.A. Substantiation of the design and layout scheme for the gravity-pneumatic soybean seed cleaner. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. N16(3). 27-32 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-3-27-32.
3. Rasulov A., Abduraxmanov A., Igamberdiev D., Idrisov Kh. Primary cleaning machine for small and medium-sized mung bean grains for farms and peasant farms. *BIO Web of Conferences*. 78, 06006. MTSITVW. 2023 (In English). DOI: 10.1051/bioconf/20237806006.
4. Tarasenko A.P., Orobinskiy V.I., Gieyevskiy A.M. et al. Reduction of grain trauma during post-harvest handling. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2019. N1 (45). 63-68 (In Russian). EDN: VDYIER.
5. Lepeshkin N.D., Mizhurin V.V., Sauchuk S.V. Justification of the type of centralized seeding system and its elements for a wide-reach grain seeder. *Vestnik of Brest State Technical University*. 2021. N1(124). 43-48 (In Russian). DOI: 10.36773/1818-1212-2021-124-1-43-48.
6. Voronina M.V. Indicators of work of a sowing apparatus for microspermae cultures. *Mechanization and Electrification of Agriculture*. 2009. N7. 8-9 (In Russian). EDN: KYZBLN.
7. Lobanov V.I., Chukhlebova A.V., Garshin I.A. Investigation of the process of the flow of bulk materials from the bins. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021. Vol. 4-1 (55). 47-49 (In Russian). DOI: 10.24412/2500-1000-2021-4-1-47-49.
8. Melekhina K.A., Anan'yev P.P., Plotnikova A.V., Shestak S.A.

- Mathematical model of the process of averaging the properties of bulk materials during their flow. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020. 8(2) (In Russian). DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.024.
9. Zhang X., Tao G., Zhu Zh. Laboratory study of the influence of dip and ore width on gravity flow during longitudinal sublevel caving. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. 103:179-185 (In English). DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.01.0399.
 10. Tishaninov N.P., Anashkin A.A., Yemel'yanovich S.V. Ensuring the quality of grain cleaning by means of auto-regulation of operation modes. *Agroindustrial Complex of Upper Volga Region Herald*. 2021. N4(56). 67-75 (In Russian). DOI: 10.35694/YARCX.2021.56.4.012.
 11. Krzysiak Z., Skic A., Samociuk W. et al. Effect of sieve drum inclination angle on wheat grain cleaning in a novel rotary cleaning device. *Transaction of ASABE*. 2017. Vol. 60. N5. 1751-1758 (In English). DOI: 10.13031/trans.12110.
 12. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Relationship between trier productivity and operating modes. *Science in the Central Russia*. 2018. N3 (33). 12–20 (In Russian). EDN: OVNUGZ.
 13. Dikteruk M.G., Kravchuk V.T., Zasluzennii A.S., Chovnyuk Yu.V. Investigation of free-flowing bulk material's movement laws at vertical vessels (silos/hoppers): monitoring of static stress state and analysis of efflux by the second form at the general definition of a problem. *Bulletin of Kherson National Technical University*. 2018. N3(66). Vol. 1. 55-73 (In Russian).
 14. Vorobyev A.A., Migrov A.A. Analysis and selection of geometric parameters of a hopper to study the process of unloading bulk materials. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2022. Vol. 19. Iss. 1. 97-104 (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-1-97-104.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Абдурахманов А.А. – научное руководство, постановка цели и направления исследований, анализ данных и доработка текста, формирование общих выводов;
 Расулов А.Д. – участие в критическом анализе данных, обобщение результатов, формирование общих выводов, работа с текстом;
 Игамбердиев Д.Х. – поиск аналитических материалов в отечественных и зарубежных источниках, первичный анализ данных, подготовка текста и иллюстраций.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Abdurakhmanov A.A. – scientific supervision, setting research objectives and defining research strategies, data analysis and manuscript revision, formulation of general conclusions;
 Rasulov A.D. – participation in critical data analysis, result summarization, formulation of general conclusions, and manuscript editing;
 Igamberdiev D.Kh. – search for analytical materials in domestic and foreign sources, initial data analysis, drafting the manuscript and illustrations.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
 Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
 The paper was accepted for publication on

03.12.2024
 25.02.2025