

УДК 631.36:621.928

UDC 631.36:621.928

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 - Technologies and means of mechanization of agriculture (technical sciences)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СЕМЕННОГО СЛОЯ ВНУТРИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF THE MOVEMENT OF THE SEED LAYER INSIDE THE CYLINDRICAL SURFACE

Козлова Елена Владимировна
ассистент

SPIN-код автора 9356-2523
РИНЦ Author ID = 836693
e-mail: nasevl@mail.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Kozlova Elena Vladimirovna
assistant

RSCI SPIN-code: 9356-2523
RSCI Author ID = 836693
e-mail: nasevl@mail.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Козлов Вячеслав Геннадиевич

д-р. техн. наук, профессор
SPIN-код автора 8181-2771
РИНЦ Author ID = 202094
e-mail: vya-kozlov@yandex.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Kozlov Vyacheslav Gennadievich

Doctor of Technical Sciences, Professor
RSCI SPIN-code: 8181-2771
RSCI Author ID = 202094
e-mail: vya-kozlov@yandex.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Гулевский Вячеслав Анатольевич

д-р. техн. наук, профессор
SPIN-код автора 4081-3587
РИНЦ Author ID = 305636
e-mail: gulevskyva@inbox.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Воронеж, Россия

Gulevsky Vyacheslav Anatolyevich

Doctor of Technical Sciences, Professor
RSCI SPIN-code: 4081-3587
RSCI Author ID = 305636
e-mail: gulevskyva@inbox.ru

All-Russian Research Institute of Plant Protection, Voronezh, Russia

Михайлов Владимир Сергеевич

аспирант
SPIN-код автора 2276-9717
РИНЦ Author ID = 1115621
e-mail: voh_a@mail.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Mikhailov Vladimir Sergeevich

graduate student
RSCI SPIN-code: 2276-9717
RSCI Author ID = 1115621
e-mail: voh_a@mail.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Статья посвящена математическому обоснованию движения семенного слоя внутри цилиндрической поверхности. Рассмотрен процесс движения частицы вороха и массы зерен внутри цилиндрического решета. Установлены закономерности изменения толщины слоя сепарируемого материала на рабочей поверхности в зависимости от частоты вращения цилиндра. Экспериментально подтверждено, что угол максимального подъема семенного слоя на поверхности цилиндрического решета растет в зависимости от увеличения числа оборотов и нагрузки на единицу поверхности. Даны рекомендации повышения производительности цилиндрических решет и их математический анализ

The article is devoted to the mathematical substantiation of the movement of the seed layer inside a cylindrical surface. The process of motion of a heap particle and a mass of grains inside a cylindrical sieve is considered. The work also establishes regularities of changes in the thickness of the layer of the separated material on the working surface depending on the speed of rotation of the cylinder. It has been experimentally confirmed that the angle of maximum rise of the seed layer on the surface of a cylindrical sieve increases depending on the increase in the number of revolutions and the load per unit surface. We also give recommendations for improving the productivity of cylindrical sieves and their mathematical analysis

Ключевые слова: СЕМЕННОЙ СЛОЙ, ЧАСТИЦА, ЦИЛИНДРИЧЕСКОЕ РЕШЕТО, ДВИЖЕНИЕ СЕМЕННОГО СЛОЯ

Keywords: SEED LAYER, PARTICLE, CYLINDRICAL SIEVE, MOVEMENT OF THE SEED LAYER

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-173-017>

Введение

По конструкции решета бывают плоские и цилиндрические. Цилиндрические решета имеют сравнительно небольшое распространение из-за их низкой производительности по сравнению с плоскими решетами. Причиной этого является неполное использование поверхности решет и то, что они являются тихоходными. С другой стороны, цилиндрические решета имеют ряд преимуществ, а именно отсутствуют инерционные усилия, что позволяет значительно облегчить раму и привод машины; очистительные устройства рабочей поверхности более простые.

Кроме того известно, что неточность установки машины приводит к неравномерному распределению семян на поверхности плоского решета, в то время как цилиндрические решета менее чувствительны к неточностям установки. Актуальность темы заключается в научно-обоснованной разработке технических и технологических решений для сепарирования и сортирования семян, внедрение которых вносит значительный вклад и имеет существенное значение для экономики России.

Цель исследования: совершенствования технологии сепарирования семян путем изучения и математического обоснования движения семенного слоя внутри цилиндрической поверхности для качественного разделения. **Задача исследования:** моделирование движения семенного слоя по криволинейной поверхности решета с целью обеспечения наилучшего прохождения частицы сквозь отверстие.

Объектами исследования выбраны механика движения семенного слоя по внутренней криволинейной поверхности решета, необходимые условия для прохождения частицы сквозь отверстие криволинейного решета.

<http://ej.kubagro.ru/2021/09/pdf/17.pdf>

Результаты и обсуждение

На основе теоретического и экспериментального изучения движения единичного зерна (материальной точки) и массы зерен на цилиндрической поверхности установлено следующее:

1. Производительность цилиндрических решет может быть значительно повышена путем установки внутри решета полуцилиндрического щитка и козырька.

2. Быстроходное цилиндрическое решето, оборудованное полуцилиндрическим щитком и козырьком, обеспечивает производительность в 2,5 раза больше, чем обычное цилиндрическое решето.

Еще в 60-х годах прошлого века И.Н. Попко [1] изучал вопросы движения материала во вращающихся цилиндрах сельскохозяйственных машин.

На базе вторичного интегрирования им разработано дифференциальное уравнение движения частицы

$$\frac{\Omega^2 R}{g} = \frac{2 \cos \varepsilon}{\cos \varphi} \cos(\beta - \varphi - \varepsilon) + C \cdot e^{2f\beta} \quad (1)$$

Также получен приближенный закон движения материальной точки внутри вращающегося горизонтального цилиндра в виде

$$\gamma = \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\beta_0 - \varphi)}{\operatorname{tg} \varphi}} \cdot \operatorname{Sin} \sqrt{\frac{g \cos(\beta_0 - \varphi)}{R \cos \varphi}} t \quad (2)$$

$\gamma = \beta - \beta_0$ – отклонение колеблющейся частицы от положения равновесия β_0 определяется формулой:

$$\beta = \varphi + \operatorname{arcSin}\left(\frac{\Omega^2 \max R}{g} \operatorname{Sin} \varphi\right) \quad (3)$$

$$A = \sqrt{\frac{\operatorname{tg}(\beta_0 - \varphi)}{\operatorname{tg} \varphi}} \quad (4)$$

с периодом

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{R \cos \varphi}{g \cos(\beta_0 - \varphi)}} \quad (5)$$

Время одного цикла, совершенное слоем материала, И.Н. Попко вычисляет формулой:

$$T = T_0 + K \frac{2\theta}{\omega} \quad (6)$$

2θ – центральный угол зернового сегмента; K – коэффициент пропорциональности, который по своему значению ближе к 1.

Формула И.Н. Попко получила подтверждение экспериментальными работами Н.М. Ивлевой и Н.И. Викторовой.

В зависимости от скорости вращения цилиндрического решета, семенной материал, помещенный на его внутреннюю поверхность, может иметь три вида движения [2-5]:

- при первом виде движения семена находятся в первом квадранте цилиндрического решета, ниже горизонтального диаметра.

- при втором виде движения, вследствие увеличения скорости вращения цилиндра до определенного рабочего режима, семена поднимаются выше горизонтального диаметра и в области второго квадранта отрываются и продолжают движения по кривой внутри цилиндра, пока они не попадут в первый или в четвертый квадрант.

- при третьем виде движения, с увеличением угловой скорости вращения семена постепенно растекаются по всей поверхности цилиндра и, не отрываясь от нее, создают тонкое кольцо внутри цилиндра.

Как показывают наблюдения за поведением семян внутри вращающегося цилиндрического решета, все это три вида движения между собой обратимы. Переход с одного вида движения на другой обуславливается лишь изменением угловой скорости вращающегося цилиндрического решета в известных пределах.

Эффективность цилиндрического решета, как сепарационного рабочего органа для сортирования семян, определяется скольжением их по

поверхности. Отсутствие скольжения, относительный покой семян на поверхности исключает их проход через отверстия решета [6].

При изучении поведения единичного семени и семенного слоя на поверхности цилиндрического решета принимается ряд допущений:

а) семя представляется как одиночная материальная точка массой m .

б) коэффициент трения φ (динамический) семян о поверхность цилиндрического решета принимается независимым от скорости вращения и одинаковым для всех положений.

в) допускается, что воздух не оказывает действия на движущуюся точку и массу семян.

г) движение семян и семенного слоя рассматривается только в течение одного цикла. Циклом называется полный период движения по круговой и по параболическим траекториям с момента подачи семян на поверхность цилиндрического решета до его повторного попадания на эту поверхность.

Внутри вращающегося горизонтального цилиндрического решета относительная скорость точки M по поверхности не равна нулю. На точку M (рисунок 1) будут действовать следующие силы: тяжести $G=mg$, нормальная реакция поверхности цилиндрического решета N , сила трения $F=fN$, а также к этим силам по принципу д'Аламбера добавляются силы, направленные противоположно соответствующим ускорениям тангенциальной силы инерции:

$$C_t = m \frac{dV_a}{dt} = mR \frac{d\omega}{dt} \quad (7)$$

и нормальной силы инерции

$$C_n = \frac{mV_a^2}{R} = m\omega^2 R \quad (8)$$

m – масса точки; V_a – абсолютная окружная скорость точки; ω – угловая абсолютная скорость точки; R – радиус цилиндра; g – ускорение силы тяжести $9,81 \text{ м/сек}^2$.

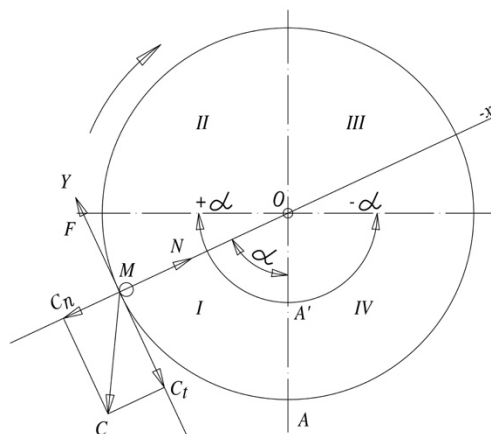


Рис. 1 - Силы, действующие на материальную точку внутри криволинейной поверхности решета.

Рассмотрим движение материальной точки на поверхности вращающегося цилиндра. Для того, чтобы точка М находилась в относительном покое, следует чтобы сумма сил, действующих на точку, равнялась нулю:

$$\Sigma x = -N + C_n + G \cos \alpha = 0 \tag{9}$$

$$\Sigma y = F - C_t - G \sin \alpha = 0 \tag{10}$$

Из (9) уравнения определим N, а из (10) уравнения F, получим:

$$N = C_n + G \cos \alpha \tag{11}$$

$$F = C_t + G \sin \alpha \tag{12}$$

подставляя в уравнение (9) значения C_n и G получим:

$$N = mR\omega^2 + mg \cos \alpha \tag{13}$$

Известно, что $F = fN$, следовательно, получим

$$F = fm(R\omega^2 + g \cos \alpha) \tag{14}$$

Определяя значение коэффициента трения F из уравнения (10), получим:

$$fm(R\omega^2 + g \cos \alpha) = C_t + G \sin \alpha \tag{15}$$

Учитывая значения C_t и G , уравнение примет вид:

$$fm(R\omega^2 + g\cos\alpha) = mR \frac{d\omega}{dt} + G\sin\alpha \quad (16)$$

После некоторых преобразований это выражение можно привести к виду:

$$\frac{R}{g} = \frac{d\omega}{dt} - \frac{fR}{g} \omega^2 = f\cos\alpha - \sin\alpha \quad (17)$$

Из курса теоретической механики известно, что $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$, $d\alpha = \omega dt$, $\frac{d\omega}{dt} = \omega \frac{d\omega}{d\alpha}$

Уравнение (17) можно переписать в таком виде:

$$\frac{R}{g} \left(\omega \frac{d\omega}{d\alpha} - f\omega^2 \right) = f\cos\alpha - \sin\alpha \quad (18)$$

$$\frac{R}{g} \omega \frac{d\omega}{dt} - \frac{R}{g} f\omega^2 = f\cos\alpha - \sin\alpha \quad (19)$$

Обозначим $K = \frac{\omega^2 R}{g} = \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \frac{R}{g} = \frac{\pi^2}{g} \cdot \frac{n^2 R}{900}$.

Отношение $\frac{9,87}{9,81}$ принимаем равным 1, тогда $K = \frac{n^2 R}{900} > 0$

Если $K = \frac{\omega^2 R}{g}$, то $K' = \frac{dk}{d\alpha} = 2\omega \frac{d\omega}{d\alpha} \frac{R}{g}$.

Эти формулы выражают отношение центростремительного ускорения к ускорению силы тяжести и характеризуют режим движения цилиндрического решета.

Подставляя значения K и K' в уравнение (18), получим дифференциальное уравнение:

$$K' - 2fk = 2f\cos\alpha - 2\sin\alpha \quad (20)$$

Уравнение (20) решаем как дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами в правой части. При второй производной, коэффициент считается равным нулю.

Характеристическое уравнение:

$$0 \cdot r^2 + r - 2f = 0 \quad r=2f \quad (21)$$

Дополнительная функция представляется в таком виде

$$\omega = C \cdot e^{2fa} \quad (22)$$

e – основание натуральных логарифмов.

Частное решение находится в форме:

$$U = A_1 \text{Cosa} + A_2 \text{Sina} \quad (23)$$

производная

$$u' = -A_1 \text{Cosa} + A_2 \text{Cosa} \quad (24)$$

Подставляя данные значения u и u' в уравнение (20), получим:

$$-A_1 \text{Sina} + A_2 \text{Cosa} - 2fA_1 \text{Cosa} - 2fA_2 \text{Sina} = 2f \text{Cosa} - 2 \text{Sina} \quad (25)$$

После группировки членов уравнения получим

$$\text{Cosa}(A_2 - 2fA_1) + \text{Sin}(A_1 + 2fA_2) = 2f \text{Cosa} - 2 \text{Sina} \quad (26)$$

Сравнивая между собой и коэффициенты при Sina и Cosa в правой и левой частях, находим значения A_1 и A_2 :

$$A_1 + 2fA_2 = 2 \quad (27)$$

$$A_2 - 2fA_1 = 2f \quad (28)$$

Решая систему уравнения (27 и 28) с двумя неизвестными, получим:

$$A_1 = \frac{2(1-2f^2)}{1+4f^2} \quad (29)$$

$$A_2 = \frac{6f}{1+4f^2} \quad (30)$$

Подставляя значения A_1 и A_2 в уравнение (23), получим (частное решение дифференциального уравнения):

$$u = \frac{6f}{1+4f^2} \text{Sina} + \frac{2(1-2f^2)}{1+4f^2} \text{Cosa} \quad (31)$$

После полного решения дифференциального уравнения движения получим: $K = u + \omega$ или

$$K = \frac{6f}{1+4f^2} \text{Sina} + \frac{2(1-2f^2)}{1+4f^2} \text{Cosa} + C \cdot e^{2fa} \quad (32)$$

Выше было рассмотрено движение одиночного семени на вращающейся цилиндрической поверхности решета. В дальнейшем рассмотрим движение семенного слоя внутри цилиндрического решета и постараемся установить закономерность изменения толщины на рабочей поверхности в зависимости от числа оборотов цилиндра.

Введем допущения, что семена в цилиндрическом решете располагаются, главным образом, в первом квадранте слоем различной толщины в разных поперечных сечениях (рисунок 2а). При отсутствии вращения семена располагаются в виде сегмента (рисунок 2б), площадь которого равновелика площади сегмента. При медленном вращении цилиндра, сегмент примет положение а (рисунок 2а), поверхность АВ расположится под некоторым углом α . Центральный угол сегмента обозначим 2θ . Угол α приближается к углу естественного ската семян.

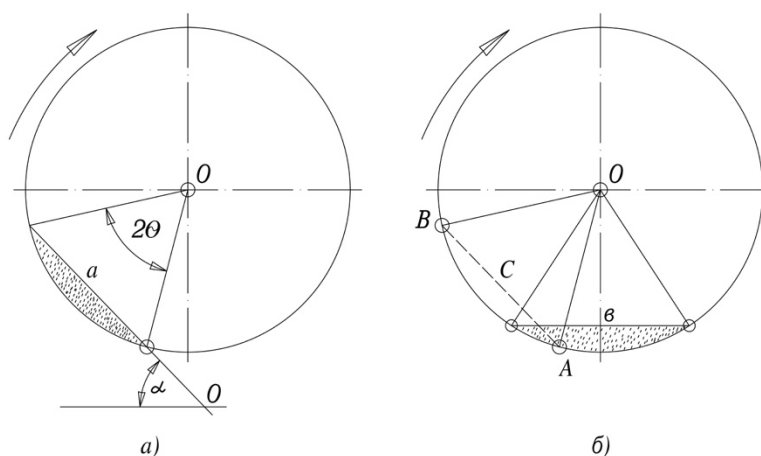


Рисунок 2 - Расположение слоя внутри цилиндрического решета.

С увеличением окружной скорости цилиндра под действием центробежной силы, угол ската увеличивается.

Углы ската для точек свободной поверхности АВ различны, так как центробежная сила $m\omega^2 r$ имеет различное значение для различных точек, как по величине, так и по направлению.

В центральных частях сечения в точке С (рисунок 3) направление центробежной силы будет приближаться к перпендикулярному направлению поверхности, а в крайних точках А и В направление центробежной силы пойдет под некоторым углом к перпендикуляру.

Поэтому при различных скоростях цилиндрического решета угол свободной поверхности будет различен для разных точек и пересечет свободную поверхность слоя по некоторой кривой линии.

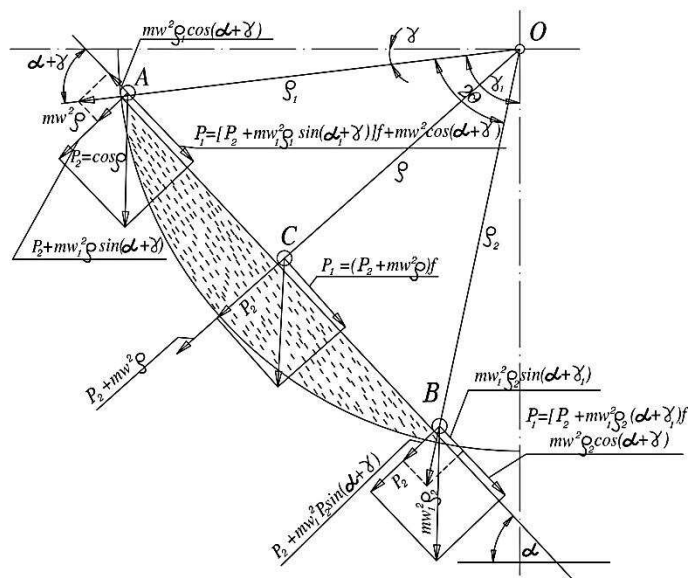


Рисунок 3 - Силы, действующие на поверхность семенного слоя внутри криволинейной поверхности цилиндра.

Наблюдение за движением семенного слоя внутри вращающегося цилиндрического решета показывает, что оно состоит из двух основных частей, из которых первая находится в круговом движении вместе с цилиндром, а другая осыпающимся движением оторвана от поверхности решета. Ссыпавшиеся семена вновь попадают на поверхность решета и снова находятся в круговом движении вместе с цилиндром. Таким образом, создается замкнутый цикл движения семенного слоя. Отдельные семена двигаются на замкнутых кривых постепенно уменьшенной длины. Ось этих кривых совпадает с осью круговорота семенного слоя.

Линия АВ (рисунок 4) показывает начальное положение семенного слоя, когда вся семенная масса увлекается цилиндром в круговое движение. Угол α соответствует углу ската семян с учетом влияния центробежной силы.

Толщина этого слоя, как показывали опыты, имеет огромное значение в смысле работы цилиндрического решета.

Семена, которые с поворотом цилиндра выносятся выше слоя B_1A_2 , теряют сцепление со слоем A_2B_1 и принимают независимое движение от остального слоя. Они некоторое время движутся вверх от B_1A_2 под действием силы инерции и силы тяжести. Семена, прилегающие к поверхности цилиндрического решета и не проходящие в отверстия, могут затаскиваться некоторое время выше точки A_1 .

Вращающийся семенной слой ниже A_2B_1 , непрерывно и полностью восстанавливается. Проведем через центр тяжести сегмент A_2B_1 , радиус ρ и будем вращать его вместе с цилиндром на угол $\gamma = \omega t$ (рисунок 3). Сектор F_1 , характеризующий количество отрывающихся семян, будем вращать с той же угловой скоростью вокруг точки К, как самый центр. Количество семян, оторвавшихся от слоя за время t , в каждом сечении будет характеризоваться сектором F_1 , с другой A_2A_3 . При этом угол ωt будет соответствовать, как указывает Политаев С.В. углу, который успеет описать за тот же отрезок времени ρ_3 . Размер сектора F_1 , определяется через угловую скорость:

$$F_1 = \frac{\pi \rho_3^2 \omega t}{2\pi} \quad (33)$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \rho_3^2 \omega t \quad (34)$$

в одну секунду $t=1$

$$F_1 = \frac{1}{2} \rho_3^2 \omega \quad (35)$$

За этот же период времени через сечение АВ слоя пройдет количество семян, которое можно определить, если предполагать, что семенной слой затаскивается цилиндрической поверхностью без отрыва, но с непрерывным восстановлением семенного слоя вниз, тогда за время t семенная масса расположилась бы на поверхности цилиндра в виде заштрихованной массы (рисунок 5).

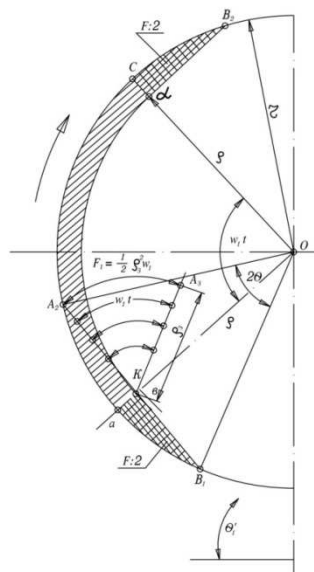


Рисунок 5 - Схема разделения семенного слоя на две равные части внутри цилиндрического решета.

Количество осыпавшихся семян за время t будет характеризоваться площадью:

$$\frac{1}{2}(r^2 - \rho^2) \omega t \quad (36)$$

А в одну секунду $t=1$

$$\frac{1}{2}(r^2 - \rho^2) \omega \quad (37)$$

Количество осыпавшихся семян, равное количеству проходящего семени через сечение AB за этот же период и соответствует семенам, которые имеют осевое перемещение:

$$\frac{1}{2}(r^2 - \rho^2) \omega = \frac{1}{2} \rho_3 \omega = \frac{q}{\Delta V_1} = F \quad (38)$$

q – секундная производительность (весовая); Δ –объемный вес; V_1 – секундная скорость осевого перемещения.

Из уравнения (38) можно определить

$$\rho = \sqrt{r^2 - \frac{2F}{\omega}} \quad (39)$$

Хорда слоя

$$A_2B_1 = 2\rho_3 = 2\sqrt{\frac{2F}{\omega}} \quad (40)$$

По этой формуле можно рассчитать размеры мертвого слоя в триерном цилиндре в любом сечении.

Однако следует отметить, что формула (39) применительна для триеров, характеризующихся низким кинематическим режимом K , когда нижний ряд семенного слоя движется с угловой скоростью равной скорости цилиндра.

На поверхности цилиндрического решета определить толщину слоя семян при помощи формулы, предлагаемой Политаевым С.В., не удастся, т.к. кинематический режим цилиндрических решет выше, чем у триеров и с увеличением числа оборотов цилиндра скольжения семян первого ряда слоя меняется [7-13].

Применение современных средств фото и видео фиксации семенного слоя, помещенного внутри вращающегося цилиндрического решета, показали, что весь слой разделяется на две одинаковые по объему части. Нижняя часть, непосредственно прилегающая к поверхности цилиндра, связана с движением последнего. Другая, верхняя часть слоя расположенная над первой, находится в состоянии непрерывной осыпи и почти не связана с движением цилиндра (рисунок 6).

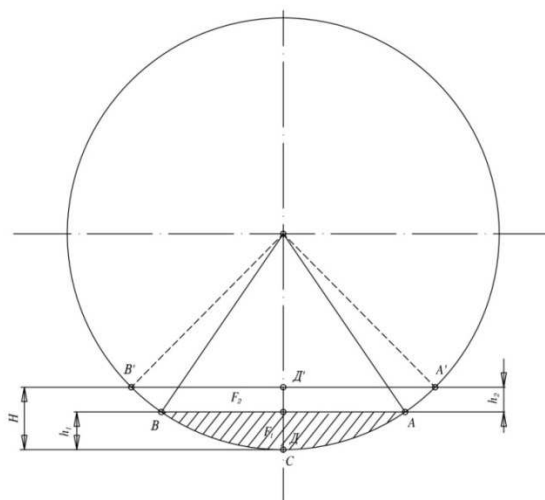


Рисунок 6 - Соотношение площади и высоты сегментования семенного слоя внутри цилиндрического решета.

Толщина слоя в цилиндрическом решетке невелика и не превышает 5-10% диаметра цилиндра. Обозначим λ отношение $\lambda = \frac{R_1}{2R}$

Площадь АСВ (рисунок б) принимается как площадь треугольника АСВ. На этом основании сечения слоя F_1 , можно выразить:

$$F_1 = \frac{1}{2} ABh_1 = BДh_1 = h_1\sqrt{(2R - R_1)R_1} \quad (40)$$

Увеличим толщину слоя на h_2 , новая толщина будет: $H=h_1 + h_2$.

С увеличением толщины на h_2 площадь F_2 , согласно условию, увеличивается. Известно, что при вращении цилиндрического решета $F_2 = F_1$ площадь F_2 (рисунок б) можно принять за площадь трапеции АВА₁В₁

$$F_2 = \frac{1}{2} (AB + A'B')ДД' \quad (41)$$

Здесь $AB=2BД=2\sqrt{(2R - h_1)h_1}$

$$A'B' = 2B'Д' = 2\sqrt{(2R - H)H} \quad (42)$$

$$ДД' = H - h_1 \quad (43)$$

следовательно

$$F_2 = [\sqrt{(2R - H)H} + \sqrt{(2R - h_1)h_1}](H - h_1) \quad (44)$$

При условии $F_1 = F_2$ имеем:

$$\sqrt{(2R - H)H} + \sqrt{(2R - h_1)h_1}(H - h_1) = h_1\sqrt{(2R - h_1)h_1} \quad (45)$$

после некоторых преобразований получим:

$$\frac{2h_1 - H}{H - h_1} = \sqrt{\frac{H(2R - H)}{h(2R - h_1)}} \quad (46)$$

$$\frac{H}{h_1} = x \quad (47)$$

Тогда равенство (46) примет вид:

$$\left(\frac{2-x}{x-1}\right)^2 = x \frac{(2R-h_1)x}{(2R-h_1)} \quad (48)$$

принимая во внимание отношение $\lambda = \frac{h_1}{2R}$, получим:

$$\left(\frac{2-x}{x-1}\right)^2 = \frac{(1-\lambda x)}{(1-\lambda)} \quad (49)$$

На основе решения (49) уравнения Летошнев М.Н. дает таблицу (таблица 1) значения X для различных λ .

Таким образом, чтобы удвоить площадь сечения слоя толщиной h_1 , надо увеличить эту толщину на 45%, если начальная толщина h_1 не составляет больше, чем 10% от диаметра цилиндрического решета.

Таблица 1 - Значения X для различных λ

$\lambda = \frac{h_1}{2R}$	$x = \frac{H}{h_1}$
0,02	1,453
0,04	1,455
0,08	1,456
0,10	1,458

Пользуясь таблицей 1 можно аналитическим путем определить отношение нижнего и верхнего слоев внутри вращающегося горизонтального цилиндрического решета: $H=h_1 + h_2$

Разделим левую и правую части уравнения на h_1 , после чего получим: $\frac{H}{h_1} = 1 + \frac{h_2}{h_1}$

Из таблицы 1

$$\frac{H}{R_1} = 1,458$$

$$1,458 = 1 + \frac{h_2}{h_1}$$

$$1,458 - 1 = \frac{h_2}{h_1}$$

$$0,458 = \frac{h_2}{h_1}$$

$$h_2 = 0,458h_1$$

Выходит, что толщина верхнего слоя h_2 на 46% меньше, чем толщина нижнего слоя.

Результаты

Правильность вышеизложенного теоретического соображения проверяли экспериментальным путем.

Толщина слоя растет в зависимости от величины навески. С увеличением числа оборотов общая толщина слоя H снижается за счет увеличения центрального угла 2θ (рисунок 7). Соответственно меняются величина h_1 , толщина нижнего слоя и величина h_2 , толщина верхнего слоя.

Угол максимального подъема семенного слоя на поверхности цилиндрического решета β_{max} растет в зависимости от увеличения числа оборотов и нагрузки поверхности.

Отношение толщин верхнего и нижнего слоев находится в определенной связи, высота нижнего слоя всегда больше верхнего $h_1 > h_2$. Величина этих отношений меняется в пределах 1,3-1,8. Таким образом, данные, полученные экспериментальным путем близки аналитическим расчетам.

Изменение толщин семенного слоя, в зависимости от нагрузки поверхности и оборотов цилиндрического решета, графически изображена на рисунке 8.

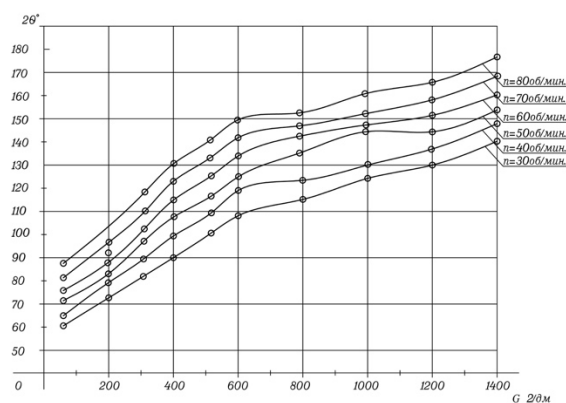


Рис. 7 - Изменение центрального угла 2θ в зависимости от числа оборотов и загрузки поверхности цилиндрического решета

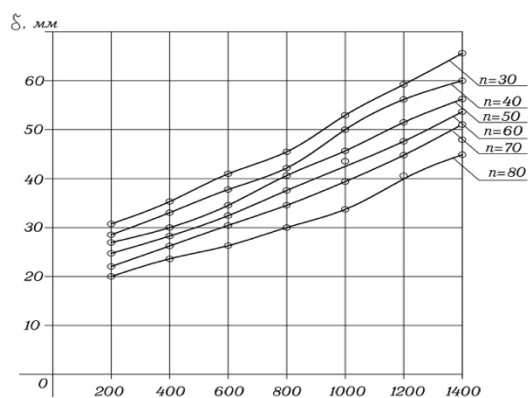


Рис. 8 - Изменение толщины семенного слоя в зависимости от числа оборотов и нагрузки поверхности цилиндрического решета.

С увеличением числа оборотов, общая толщина H снижается. Это явление можно объяснить тем, что выше 50 об/мин значительная часть семян поднимается выше горизонтального диаметра и, отрываясь от поверхности цилиндрического решета, продолжает движение полетом, пока снова не попадает на решето в 1 или 4 квадрантах, при этом толщина верхнего слоя резко снижается.

Выводы

Наблюдение за движением семенного слоя внутри вращающегося цилиндрического решета показывает, что оно состоит из двух основных частей, из которых первая находится в круговом движении вместе с цилиндром, а другая осыпающимся движением оторвана от поверхности решета. Ссыпавшиеся семена вновь попадают на поверхность решета и снова находятся в круговом движении вместе с цилиндром. Таким образом, создается замкнутый цикл движения семенного слоя. Отдельные семена двигаются на замкнутых кривых постепенно уменьшенной длины. Ось этих кривых совпадает с осью круговорота семенного слоя.

Зерновой слой, сепарируемый на цилиндрическом решете можно условно разделить на одинаковые по объему две части. Нижняя часть h_1 , непосредственно прилегающая к поверхности цилиндра, связана с движением последнего. Другая, верхняя часть слоя h_2 расположенная над первой, находится в состоянии непрерывной осыпи и почти не связана с движением цилиндра. При этом толщина верхнего слоя h_2 на 46% меньше, чем толщина нижнего слоя.

Исследования работы горизонтального цилиндрического решета показали, что с увеличением подачи материала на решетную поверхность толщина слоя увеличивается и снижается с ростом частоты вращения. Так центральный угол 2θ достигает 180° при максимальной частоте вращения 80 об/мин и нагрузки на решето 1400 г/дм. Минимальная толщина слоя равная 20 мм наблюдалась при частоте вращения 80 об/мин и нагрузки на

решето 200 г/дм. Это явление можно объяснить тем, что выше 50 об/мин значительная часть семян поднимается выше горизонтального диаметра и, отрываясь от поверхности цилиндрического решета, продолжает движение полетом, пока снова не попадает на решето в 1 или 4 квадрантах, при этом толщина верхнего слоя резко снижается.

Угол максимального подъема семенного слоя на поверхности цилиндрического решета β_{\max} растет в зависимости от увеличения числа оборотов и нагрузки на поверхность. Отношение толщин верхнего и нижнего слоев находится в определенной связи, высота нижнего слоя всегда больше верхнего $h_1 > h_2$. Величина этих отношений меняется в пределах 1,3-1,8. Данные, полученные экспериментальным путем близки аналитическим расчетам.

Список литературы

1. Зеликов В.А. Математическая модель движения частицы лесосеменного материала в рабочем канале сепаратора / В.А. Зеликов [и др.] // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 1 (41). С. 123-131.
2. Зеликов В.А. Определение силы сопротивления погружению центрального диска высевающей секции и ее техническое решение / В.А. Зеликов [и др.] // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 3 (39). С. 155-163.
3. Kozlova E.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G. (2019) Air magnetic separator for the preparation of forestry seed material and its theoretical justification. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 012070.
4. Naumenko, M., Sokol, S., Filipenko, D., Guridova, V., & Kharytonov, M. (2018). Numeric model of the grain mixture flow in a cylindrical sieve which revolves around the inclined axis. INMATEH - Agricultural Engineering, 56(3), 67-74.
5. Сапов, S.N., Shepelev, S.D. Improving the effectiveness of grain harvesting and grain cleaning through coordination (2010) Achievements of Science and Technology in the AgroIndustrial Complex, (12), pp. 76-78.
6. Eskhozhin, D. Z., Nukeshev, S. O., Сапов, S. N., Baishugulova, S. K., & Dikhanova, M. B. (2016). A theoretical substantiation of a grain cleaner with a compound motion of the operating device. International Journal of Environmental and Science Education, 11(18), 11385-11392.
7. Apostu, E. D., & Constantinescu, A. (2011). Theoretical and practical study on cargo movement in the rotating cylindrical sieves. Metalurgia International, 16(5), 85-88.
8. Apostu, E.D. The influence of the cylinder sieves and the load flow of grain material over the volumetric ranking efficiency 14th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2010, Mediterranean Cruise.
9. Giyevskiy, A. M., Orobinsky, V. I., Tarasenko, A. P., Chernyshov, A. V., & Kurilov, D. O. (2018). Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of

agricultural crops seeds. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, , 327(4) doi:10.1088/1757-899X/327/4/042035.

10. Kharitonov, M. K., Gievsky, A. M., Orobinsky, V. I., Chernyshov, A. V., & Baskakov, I. V. (2020). Studying the design and operational parameters of the sieve module of the grain cleaning machine. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, , 488(1) doi:10.1088/1755-1315/488/1/012021.

11. Ugurluay, S., & Akcali, I. D. (2021). Development of a vibrationless sorting system. Spanish Journal of Agricultural Research, 19(1) doi:10.5424/sjar/2021191-15884.

12. Costin, C., Florin, F. N., Valentin, V. V., Iuliana, I. G., Dan, D. C., & Gheorghe, G. V. (2020). Increasing the performance of cylindrical separators for cereal cleaning, by using an inner helical coil. INMATEH - Agricultural Engineering, 62(3), 249-258. doi:10.35633/INMATEH-62-26.

13. Yuan, J., Wu, C., Li, H., Qi, X., Xiao, X., & Shi, X. (2018). Movement rules and screening characteristics of rice-threshed mixture separation through a cylinder sieve. Computers and Electronics in Agriculture, 154, 320-329. doi:10.1016/j.compag.2018.09.012.

References

1. Zelikov V.A. Matematicheskaya model' dvizheniya chasticy lesosemennogo materiala v rabochem kanale separatora / V.A. Zelikov [i dr.] // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2021. T. 11. № 1 (41). S. 123-131.

2. Zelikov V.A. Opredelenie sily soprotivleniya pogruzheniyu central'nogo diska vysewayushchej sekcii i ee tekhnicheskoe reshenie / V.A. Zelikov [i dr.] // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2020. T. 10. № 3 (39). S. 155-163.

3. Kozlova E.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G. (2019) Air magnetic separator for the preparation of forestry seed material and its theoretical justification. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 012070.

4. Naumenko, M., Sokol, S., Filipenko, D., Guridova, V., & Kharytonov, M. (2018). Numeric model of the grain mixture flow in a cylindrical sieve which revolves around the inclined axis. INMATEH - Agricultural Engineering, 56(3), 67-74.

5. Capov, S.N., Shepelev, S.D. Improving the effectiveness of grain harvesting and grain cleaning through coordination (2010) Achievements of Science and Technology in the AgroIndustrial Complex, (12), pp. 76-78.

6. Eskhozhin, D. Z., Nukeshev, S. O., Capov, S. N., Baishugulova, S. K., & Dikhanova, M. B. (2016). A theoretical substantiation of a grain cleaner with a compound motion of the operating device. International Journal of Environmental and Science Education, 11(18), 11385-11392.

7. Apostu, E. D., & Constantinescu, A. (2011). Theoretical and practical study on cargo movement in the rotating cylindrical sieves. Metalurgia International, 16(5), 85-88.

8. Apostu, E.D. The influence of the cylinder sieves and the load flow of grain material over the volumetric ranking efficiency 14th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2010, Mediterranean Cruise.

9. Giyevskiy, A. M., Orobinsky, V. I., Tarasenko, A. P., Chernyshov, A. V., & Kurilov, D. O. (2018). Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, , 327(4) doi:10.1088/1757-899X/327/4/042035.

10. Kharitonov, M. K., Gievsky, A. M., Orobinsky, V. I., Chernyshov, A. V., & Baskakov, I. V. (2020). Studying the design and operational parameters of the sieve module

of the grain cleaning machine. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, , 488(1) doi:10.1088/1755-1315/488/1/012021.

11. Ugurluay, S., & Akcali, I. D. (2021). Development of a vibrationless sorting system. Spanish Journal of Agricultural Research, 19(1) doi:10.5424/sjar/2021191-15884.

12. Costin, C., Florin, F. N., Valentin, V. V., Iuliana, I. G., Dan, D. C., & Gheorghe, G. V. (2020). Increasing the performance of cylindrical separators for cereal cleaning, by using an inner helical coil. INMATEH - Agricultural Engineering, 62(3), 249-258. doi:10.35633/INMATEH-62-26.

13. Yuan, J., Wu, C., Li, H., Qi, X., Xiao, X., & Shi, X. (2018). Movement rules and screening characteristics of rice-threshed mixture separation through a cylinder sieve. Computers and Electronics in Agriculture, 154, 320-329. doi:10.1016/j.compag.2018.09.012.