

УДК 631.552

UDC 631.552

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**К ВОПРОСУ О ВЕРОЯТНОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ СЕМЯН ГОРОХА ЧЕРЕЗ ЯЧЕЙКУ РЕШЕТА ПРИ КАЛИБРОВАНИИ**

Самурганов Евгений Ерманекосович  
канд. техн. наук  
РИНЦ SPIN-код: 8386-5713  
samурганов@mail.ru  
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Журавель Евгений Сергеевич  
студент факультета механизации  
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

В статье исследуются факторы, влияющие на вероятность прохождения семян гороха через ячейки решета при механическом калибровании. Калибрование семян, процесс разделения их по размеру, является важным аспектом агрономии, обеспечивающим однородность посева, синхронное прорастание и увеличение урожайности. Были выявлены недостатки современных калибровочных машин, и был предложен вариант решет с полусферическими ориентирующими выступами. Рассмотрена вероятность прохождения семян гороха в статике и в динамике. В результате исследования определили выражение для аналога коэффициента «живого сечения» решета, соотношение между параметрами решета, обеспечивающее максимальный проход семян гороха с решета и формулы вероятности прохода семени гороха через отверстие решета

Ключевые слова: КАЛИБРОВАНИЕ, ВЕРОЯТНОСТЬ ПРОХОЖДЕНИЯ, РЕШЕТО, СЕМЕНА, СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО, КАЛИБРОВОЧНЫЕ МАШИНЫ, УРОЖАЙНОСТЬ, ПАРАМЕТРЫ РЕШЕТА

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-213-033>

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**ON THE QUESTION OF THE PROBABILITY OF PEAS SEEDS PASSING THROUGH THE SIEVE CELL DURING CALIBRATION**

Samурганов Евгений Ерманекосович  
Cand.Tech.Sci.  
RSCI SPIN code: 8386-5713  
samурганов@mail.ru  
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, Russia

Zhuravel Evgeny Sergeevich  
student, Faculty of Mechanization  
I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

This article examines the factors affecting the likelihood of pea seeds passing through the sieve cells during mechanical sizing. Seed sizing, the process of separating seeds by size, is an important aspect of agronomy to ensure seed uniformity, synchronized germination and increased yield. The shortcomings of modern calibrating machines were identified, and a variant of sieves with hemispherical orienting protrusions was proposed. The probability of passage of pea seeds in statics and dynamics is considered. As a result of the study, an expression was determined for an analogue of the coefficient of the “live section” of the sieve, the relationship between the sieve parameters that ensures the maximum passage of pea seeds from the sieve and the formula for the probability of the passage of pea seeds through the sieve hole

Keywords: CALIBRATION, PROBABILITY OF PASSAGE, SIEVE, SEEDS, AGRICULTURE, CALIBRATING MACHINES, YIELD, SIEVE PARAMETERS

**Введение.** Калибрование семян – процесс разделения семян по размеру, является важным аспектом селекции в агрономии, гарантирующим однородность посева, одновременность прорастания и

увеличение урожайности. Традиционно в селекции калибрование выполнялось вручную, но в последнее время все чаще используются механические калибраторы, которые обеспечивают большую точность и эффективность.

При механическом калибровании семена проходят через решетный стан с отверстиями определенного размера. Семена, которые сходят с поверхности решета считаются калиброванными. Вероятность прохождения семян через отверстие решета зависит от многих факторов: диаметра отверстия, размера семени, его формы, частоты и амплитуды колебаний решета, скорости движения семени относительно решета и др.

Изучение вероятности того, насколько легко семена проходят сквозь ячейки решета, играет ключевую роль в создании эффективных механических калибраторов. Это помогает точно определить параметры: амплитуду и частоту колебаний решета. Анализ того, как различные факторы влияют на эту вероятность, способствует получению более равномерных фракций семян гороха [1,2,3].

В статье проводится анализ параметров, оказывающие воздействие на вероятность прохождения семян гороха через решето, опираясь на экспериментальные наблюдения и характер распределения семян в окрестности отверстия решета. Наши выводы раскрывают идеальные условия для сортировки семян гороха, что в итоге поможет оптимизировать и ускорить весь процесс калибровки.

**Цель статьи** – определить вероятность прохождения семян гороха через ячейку решета с заданными размерами при калибровании семян с целью оптимизации процесса калибровки и повышения его эффективности.

**Материалы и методы.** Исследования выполнялись на базе Кубанского ГАУ им. И.Т. Трубилина. Использовались методы статического и динамического анализа.

## Результаты исследований.

1. Рассмотрим статический случай, без учета движения решета.

Для каждой фракции рассчитаем геометрическую вероятность прохода семени через ячейку решета по формуле, как отношение площадей, или квадратов линейных величин (диаметров):

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^2, \quad (1)$$

где  $P$  – вероятность прохождения;

$d$  – средний диаметр семян в фракции, мм;

$D$  – диаметр ячейки решета, мм.

Большинство современных калибровочных машин осуществляют сортировку семян гороха, ориентируясь исключительно на один параметр — диаметр зерен. В таких устройствах применяются плоские решета с круглыми отверстиями, расположенные под углом наклона 7–8° к горизонтальной плоскости. Однако главным недостатком этих рабочих органов является случайное положение семян при прохождении через калибровочные отверстия, что приводит к снижению эффективности и производительности процесса калибровки.

Для решения этой проблемы нами предложена инновационная конструкция решет с полусферическими направляющими выступами, показанная на рисунках 1 и 2. Такая форма выступов обеспечивает более упорядоченную ориентацию семян, что значительно повышает качество и скорость калибровки [4,5].

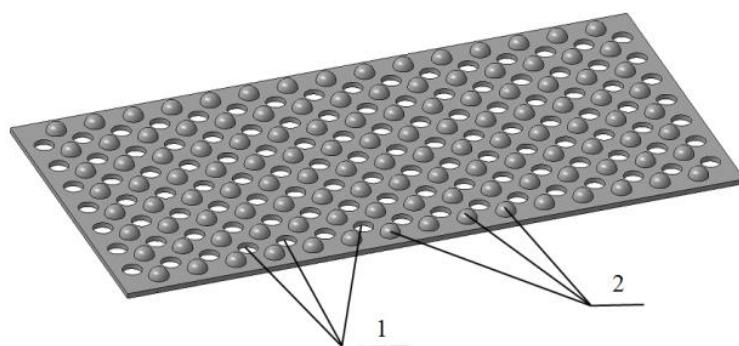


Рисунок 1 – Плоское решето с полусферическими выступами:

1 – калибровочные отверстия, 2 – полусферические выступы.

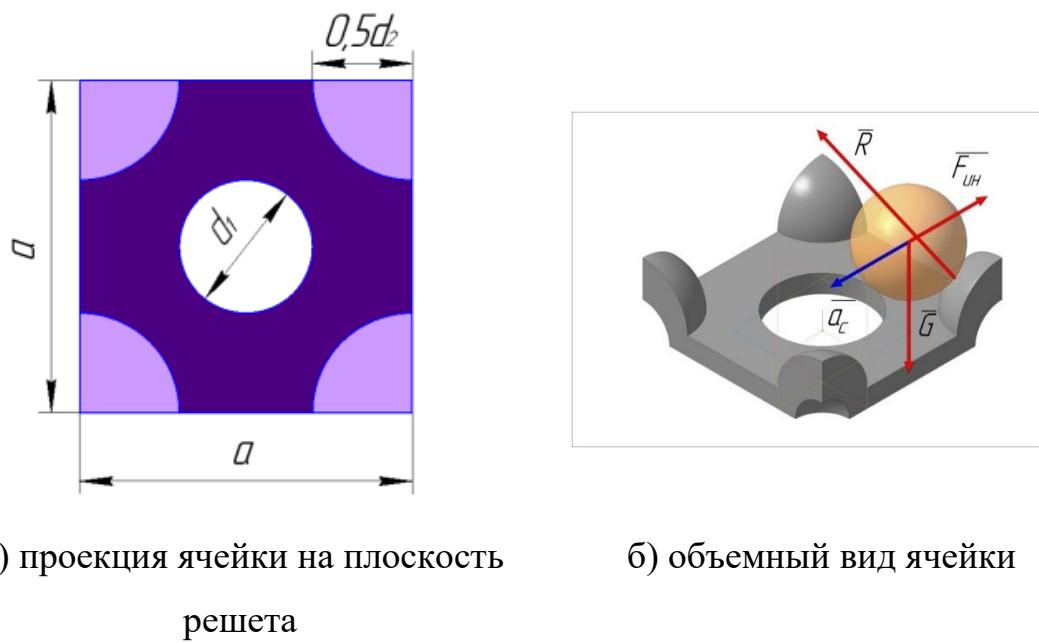


Рисунок 2 – Ячейка решетка с полусферическими ориентирующими выступами и условно сферическим зерном гороха.

Рассмотрим конструкцию просеивающего устройства, которое включает в себя комплекс элементарных ячеек. Базовая конфигурация ячеек представлена на рис. 1, при этом следует отметить специфику граничных элементов, имеющих конструктивные отличия (см. рис. 2а).

Чтобы минимизировать хаотичность и повысить эффективность калибровки семян гороха, ключевым шагом является определение идеального баланса между основными конструктивными характеристиками системы. К ним относятся: диаметр калибровочного отверстия ( $d_1$ ) — как проходное сечение для зерен; расстояние между центрами опорных элементов ( $a$ ) — ширина ячейки решета; диаметр основания выступов ( $d_2$ ) — размер опорных полусфер; и угол установки решета ( $\theta$ ) — наклон относительно горизонта.

Затем погрузимся в анализ того, как отдельное зерно гороха справляется с преодолением калибровочного отверстия в решете,

установленном под наклоном и оснащенном полусферическими ориентирующими выпуклостями. Такой подход помогает из множества возможных положений при движении зерна, выбрать наивероятное движение, и в итоге делает просеивание более надежным.

Чтобы количественно описать просеивание при работе решета, вводится понятие коэффициента живого сечения. Он учитывает ряд факторов: геометрии ячеек, свойств просеиваемого материала, угла наклона решета и геометрии ориентирующих выступов, их расположения.

Кроме того, ориентирующие выпуклости предотвращают попадание семян в области оснований этих элементов, тем самым повышая шансы на успешный проход сквозь отверстия.

$$\varepsilon = \frac{S_0}{S} \cos \theta, \quad (2)$$

где  $S_0$  – площадь отверстия,  $\text{м}^2$ ;

$S$  – площадь ячейки решета без площади оснований ориентирующих выступов,  $\text{м}^2$ .

Указанные площади связаны с параметрами решета следующими соотношениями:

$$S_0 = \frac{\pi d_1^2}{4}, \quad S = a^2 - \frac{\pi d_2^2}{4}. \quad (3)$$

После подстановки соотношений (3) в выражение (2) и преобразований получим:

$$\varepsilon = \frac{\pi d_1^2}{4a^2 - \pi d_2^2} \cos \theta. \quad (4)$$

Принимаем  $d_1 = d_2 = d$ , тогда выражение (4) примет вид

$$\varepsilon = \frac{\pi d^2}{4a^2 - \pi d^2} \cos \theta. \quad (5)$$

Чтобы повысить точность и систематичность анализа процесса калибровки, введем нормализованный безразмерный индикатор, который отражает пропорциональную связь между ключевыми размерами решета. Этот параметр рассчитывается как частное от деления диаметра калибровочного отверстия ( $d$ ) на величину стороны ячейки ( $a$ ), иначе говоря — расстояние между центральными точками соседних опорных элементов. Такой подход позволяет абстрагироваться от абсолютных размеров и оценивать влияние геометрии на динамику взаимодействия зерен с поверхностью решета, способствуя более универсальному моделированию и оптимизации конструкций [6].

$$n = \frac{d}{a}. \quad (6)$$

Тогда выражение (5) примет вид

$$\varepsilon = \frac{\pi n^2}{4 - \pi n^2} \cos \theta. \quad (7)$$

Из рисунка 2 (а) следует очевидное ограничение для диагонали ячейки и диаметров калибровочного отверстия и оснований ориентирующих выступов

$$\sqrt{2} a = 2 d. \quad (8)$$

При таком математическом соотношении геометрических параметров возникает нежелательное перекрытие элементов конструкции, что создаёт препятствие для эффективного функционирования системы. В связи с этим целесообразно использовать альтернативное соотношение параметров, которое позволит организовать беспрепятственное перемещение семенного материала по специально сформированным промежуткам между последовательно расположенными рядами ориентирующих элементов:

$$d = 0,5 a. \quad (9)$$

Значение коэффициента «живого сечения» решета при  $n=0,5$  и угле наклона  $\theta = 8^0$

$$\varepsilon = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4 - 3,14 \cdot 0,5^2} \cos 8^0 = 0,24.$$

Для определения того, с какой долей вероятности одиночное зерно кукурузы сумеет преодолеть барьер калибровочного отверстия в пределах одной ячейки, мы можем опереться на упрощенные расчеты. В первом приближении эта вероятность вычисляется с помощью формулы, которая учитывает геометрические соотношения:

$$P = \frac{\pi r_0^2}{a^2 - \frac{\pi d^2}{4}} \cos \theta, \quad (10)$$

где  $d$  – усредненный диаметр окружности отверстия и окружности основания ориентирующего выступа, м;

$a$  – размер ячейки, м.

2 Теперь рассмотрим динамический случай, учитывающий движение решета.

Отверстие «размывается» и представлено в виде плоской заштрихованной фигуры. А горизонтальное сечение шарообразного семени гороха плоскостью, проходящей через центр, преобразуется из кругового с диаметром  $d$  в круг с радиусом, который учитывает равновероятное по горизонтали направление скорости гороха и его время падения с высоты  $h$  над решетом [7,8].

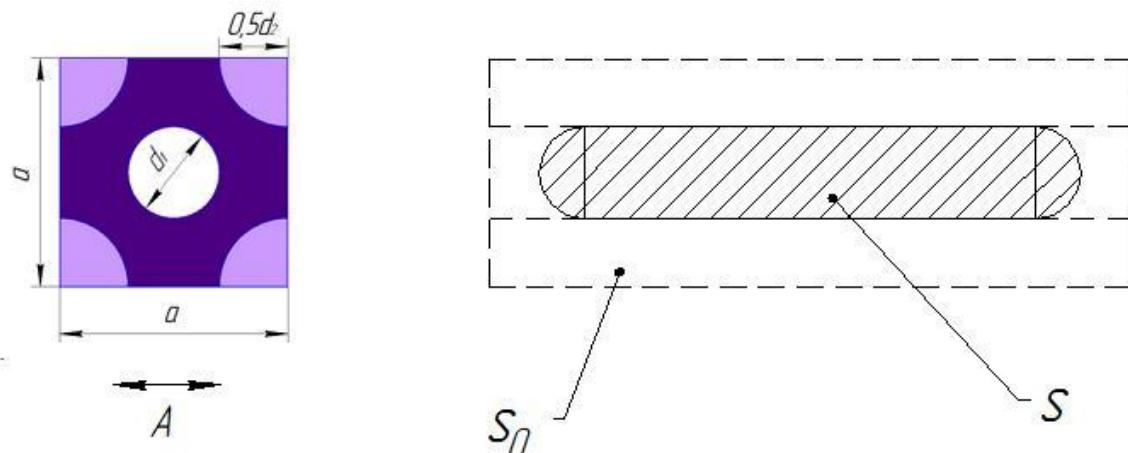


Рисунок 3 – Преобразование отверстия решета в динамическом случае

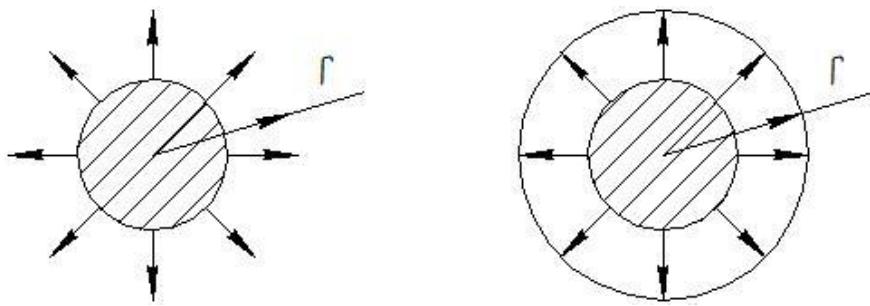


Рисунок 4 – Преобразование горизонтального сечения семени гороха в динамическом случае

Тогда искомая вероятность примет вид

$$P = \frac{\pi r^2}{2Ad_1 + \frac{\pi d_1^2}{4}} \cos \theta, \quad (11)$$

где  $r$  – радиус из рисунка 4

$$r = v \cos \alpha \sqrt{\frac{2h}{g}},$$

$A$  – амплитуда колебаний решета;

$\alpha$  – угол наклона скорости гороха к горизонту;

$h$  – высота центра гороха над решетом.

**Заключение.** Выполненное исследование показывает возможности для усовершенствования калибровки семян гороха. Предложенная методика вычисления характеристик решета представляет собой путь к оптимизации функционирования сортировочных устройств и существенному росту результативности разделения посевного материала по фракциям.

Перспективность дальнейших исследований заключается в возможности адаптации предложенной методики для работы с другими видами сельскохозяйственных культур. Особенно актуальным представляется изучение влияния различных параметров решета на процесс калибрования в условиях реального производственного процесса.

Также были получены следующие формулы:

1. Аналог коэффициента «живого сечения» решета может быть найден по выражению

$$\varepsilon = \frac{\pi d_1^2}{4a^2 - \pi d_2^2} \cos \theta.$$

2. Соотношение между параметрами решета, обеспечивающее максимальный проход семян гороха с решета составляет

$$d = 0,5 a.$$

3. Вероятность прохода семени гороха через отверстие решета можно найти по формулам:

$$P = \frac{\pi r^2}{2Ad_1 + \frac{\pi d_1^2}{4}} \cos \theta$$

и

$$P = \frac{\pi r_0^2}{a^2 - \frac{\pi d^2}{4}} \cos \theta.$$

### Список литературы

1. Блехман, И. И. Вибрационное перемещение / И. И. Блехман, Г. Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 410 с.
2. Заика, П. М. Динамика вибрационных зерноочистительных машин / П. М. Заика. – М.: Машиностроение, 1977. – 276 с.
3. Заика, П. М. К вопросу составления дифференциальных уравнений движения вибрационно-центробежных сепараторов и виброконцентрифуг с инерционными вибраторами / П. М. Заика, Д. И. Мазоренко // Тр. / ЧИМЭСХ. Челябинск, 1972. – Вып. 69. – С. 51-57.
4. Заика, П. М. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств / П. М. Заика, Г. Е. Мазнев. – М.: «Колос», 1978. – 287 с.
5. Курасов, В. С. Механизация работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы: монография / В. С. Курасов, В. В. Кучеев, Е. Е. Самурганов; КубГАУ. – Краснодар, 2013. – 151 с. ISBN 978-5-94672-723-5
6. Самурганов, Е. Е. О вероятности просеивания зерновки кукурузы при движении по виброрешету с ориентирующими выступами / Е. Е. Самурганов // Электронный научный журнал. – 2016. – № 10-1 (13). – С. 149-152.
7. Самурганов, Е. Е. О движении виброожиженного сепарируемого слоя зерна по плоскому решету конечной ширины / Е. Е. Самурганов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – № 123 (09). – С. 510-522. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/37.pdf>.

### References

1. Blehman, I. I. Vibracionnoe peremeshhenie / I. I. Blehman, G. Ju. Dzhanelidze. – M.: Nauka, 1964. – 410 s.
2. Zaika, P. M. Dinamika vibracionnyh zernoochistitel'nyh mashin / P. M. Zaika. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 276 s.
3. Zaika, P. M. K voprosu sostavlenija differencial'nyh uravnenij dvizhenija vibracionno-centrobezhnyh separatorov i vibrocentrifug s inercionnymi vibratorami / P. M. Zaika, D. I. Mazorenko // Tr. / ChIMJeSH. Cheljabinsk, 1972. – Vyp. 69. – S. 51-57.
4. Zaika, P. M. Separacija semjan po kompleksu fiziko-mehanicheskikh svojstv / P. M. Zaika, G. E. Maznev. – M.: «Kolos», 1978. – 287 s.
5. Kurasov, V. S. Mehanizacija rabot v selekcii, sortoispytanii i pervichnom semenovodstve kukuruzy: monografija / V. S. Kurasov, V. V. Kuceev, E. E. Samurganov; KubGAU. – Krasnodar, 2013. – 151 s. ISBN 978-5-94672-723-5
6. Samurganov, E. E. O verojatnosti proseivanija zernovki kukuruzy pri dvizhenii po vibroreshetu s orientirujushhimi vystupami / E. E. Samurganov // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal. – 2016. – № 10-1 (13). – S. 149-152.
7. Samurganov, E. E. O dvizhenii vibroozhizhennogo separiruemogo sloja zerna po ploskому reshetu konechnoj shiriny / E. E. Samurganov // Politematiceskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – № 123 (09). – S. 510-522. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2015/10/pdf/37.pdf>.