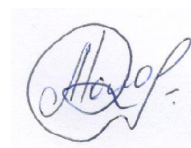


На правах рукописи

Головин Александр Юрьевич



**Обоснование конструктивно-режимных параметров плоского подсевного
решета, совершающего круговые движения**

**Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина» (ФГБОУ ВО Омский ГАУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Сабиев Уахит Калижанович

Официальные оппоненты: **Фоминых Александр Васильевич**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия», кафедра
«Эксплуатация и ремонт машин»,
профессор

Сухопаров Александр Александрович
кандидат технических наук, старший
научный сотрудник лаборатории уборки и
обработки урожая зерновых культур
СибИМЭ СФНЦА РАН

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится 14 декабря 2018 года в 10 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 при ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46; тел/факс +7 (3852) 36-71-29; официальный сайт: <http://www.altstu.ru>; e-mail: epb_401@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» и на официальном сайте университета <https://www.altstu.ru/media/f/Dissertaciya-Golovina-A/-YU..pdf>.

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

д.т.н., профессор



Куликова Лидия Васильевна

Актуальность темы исследования

Послеуборочная обработка зерна является заключительной стадией и наиболее ответственной и энергоемкой операцией при его производстве.

В настоящее время в сельском хозяйстве одной из основных является проблема очистки зерна, убранного комбайнами, которые в свою очередь, на протяжении последних лет, заметно добавили в мощности и производительности. Машины, агрегаты и комплексы послеуборочной обработки зерна, находящиеся на вооружении хозяйств с 70-80-х годов, изношены, да и их производительность уступает объемам зернового вороха поступающим с полей, что зачастую не устраивает сельских товаропроизводителей. Однако технический уровень выпускаемых машин заметно снизился по сравнению с достигнутым ранее.

Зарубежная зерноочистительная техника различных марок, достаточно хорошо зарекомендовала себя у сельских товаропроизводителей, но при этом не каждое предприятие может позволить себе их приобретение, так как соотношение цен на импортные машины и прочих расходов, связанных с их приобретением, в нынешних экономических условиях оказывается не в пользу покупки машин зарубежных фирм.

В связи с увеличившейся засоренностью полей, занятых зерновыми культурами, резко возросли нагрузки на зерноочистительную технику. Для доведения зерна до посевных кондиций ворох пропускают через зерноочистительные машины по несколько раз. Это ведет к увеличению себестоимости конечного продукта и снижению производительности машины.

Убранный с поля урожай должен подвергаться немедленной очистке, для выделения из вороха мелких семян сорных растений, легкой примеси в виде половы и мякины, а так же разделения очищенного материала на различные фракции.

На послеуборочную обработку и хранение зерна приходится значительные затраты, связанные с его производством.

Для сокращения этих проблем необходимо совершенствовать технологии и технические средства, повышать их производительность. Широкое

использование перспективных современных зерноочистительных машин позволит снизить издержки на обработку зерна.

Одним из наиболее распространенных сепарирующих элементов для первичной очистки зерна, являются пробивные решета. Из них наиболее применимыми считаются полотна с прямоугольными отверстиями, осуществляющими разделение семян по толщине. Эти решета обладают гораздо большими величинами удельной производительности, чем решета с круглыми отверстиями.

Данная тема посвящена использованию в качестве сепаратора зерна плоских решет с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом, которые совершают круговые движения.

Степень разработанности темы исследования

Современное состояние послеуборочной обработки зерна рассматривает процесс сепарации одновременно с детерминированным подходом, в области движения зерновой смеси, и стохастическим подходом, в области просеивания проходовой фракции.

Детерминированный подход к процессу движения зерновой смеси рассмотрен в работах В.П. Горячкина, В.В. Гортинского, Е.С. Гончаревич, В.М. Дринча, В.Ф. Евтягина, А.В. Зильбернагеля, И.Е. Кожуховского, М.Н. Летошнев, Б.Д. Папина, Н.И. Стрикунова, Г.Д. Терскова, Б.Т. Тарасова, А.В. Чернякова и многих других ученых.

Изучению вопросов, связанных с движением зернового вороха по колеблющейся поверхности, посвящены работы П.М. Заика, Н.М. Иванова, П.Н. Лапшина, И.П. Лапшина, М.Н. Летошнев, Е.А. Непомнящего, В.Н. Романенко, У.К. Сабиева, Г.Д. Терскова, И.Я. Федоренко, Л.В. Шабановой, В.М. Цециновского, С.С. Ямпилова и других ученых.

Указанные ученые внесли большой вклад в теорию и практику создания зерноочистительных машин. Однако вопросы функционирования системы очистки и увеличения производительности зерноочистительных агрегатов изучены недостаточно полно. В частности, требуется дальнейшее изучение поведения зернового вороха на поверхности подсевного решета, совершающего

круговые движения и влияние усложнения закона колебаний на качество разделения зернового материала.

Целью диссертационной работы является интенсификация процесса сепарации зерна на плоских подсевных решетках, совершающих круговые движения.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследований:

1. Изучить процесс взаимодействия зерна с прямоугольными отверстиями решета, расположенными под углом к продольной оси, совершающего круговые движения.

2. Обосновать рациональные параметры и режимы работы плоского подсевного решета с отверстиями расположенными под углом к продольной оси, совершающего круговые движение.

3. Дать предложение производству по практическому применению предлагаемых решет, совершающих круговые движения и оценить экономическую эффективность результатов исследования.

Объект исследования - процесс сепарации зерна на плоских подсевных решетках с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, совершающих круговые движения.

Предмет исследования - закономерности процесса сепарации зерна на плоских подсевных решетках с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, совершающих круговые движения.

Научная новизна:

Теоретическими и экспериментальными исследованиями обоснованы возможность и целесообразность использования круговых движений (колебаний) для повышения эффективности работы зерноочистительного решета. Получены зависимости (формулы) для расчета теоретического движения зерновки по решету при круговых колебаниях. Выявлено, что траектория движения, представляет собой циклоиду, которая при заданных параметрах частоты вращения решета, переходит в удлиненную форму с последующим увеличением расстояния между витками. Обоснованы

конструктивные и технологические параметры работы плоского подсевного решета с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом, совершающего круговые движения. Техническая новизна подтверждена патентом РФ на полезную модель №117838.

Рабочая гипотеза – применение плоских подсевных решет с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, совершающих круговые движения, позволит равномерно распределить зерновой материал на поверхности решета, что увеличит вероятность попадания частицы в отверстие и повысит качество разделения зернового материала, в результате чего процесс сепарации (очистки) существенно улучшится.

Методология и методы исследования

В теоретических исследованиях применены положения классической механики, математического моделирования, численные методы математического анализа, вычислительные эксперименты. Экспериментальные исследования выполнены с применением методов планирования эксперимента, математической статистики обработки полученных результатов.

Положения, выносимые на защиту:

- закономерности количественных и качественных показателей сепарации зерна на плоских решетках с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, совершающих круговые движения.
- рациональные конструктивные параметры плоских решет с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к продольной оси, совершающих круговые движения.

Достоверность результатов проведенных исследований обеспечивалась применением современных методов сбора и обработки информации, современных программных средств. Достоверность подтверждена сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных и производственных условиях, соответствием полученных результатов с результатами, представленными в независимых источниках.

Реализация результатов исследования.

Результаты исследования внедрены в работу зернотоковых хозяйств ООО «НИВА» АТПП «Группа «ОША» Русско-Полянского района Омской области; ООО «СИБАГРОТЕХСТАНДАРТ» Кормиловского района Омской области; используется в учебном процессе ФГБОУ ВО Омский государственный университет имени П.А. Столыпина.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты исследований докладывались:

на научно практических конференциях ФГБОУ ВО Омский ГАУ (2012, 2014, 2015, 2017, 2018 г.г.);

на Всероссийской 65-й научно технической конференции ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с международным участием) – Омск 2011;

на региональной научно практической конференции посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина – Омск 2013;

на региональной научно практической конференции «Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития» апрель 2016 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано одиннадцать печатных работ, включая статью в журнале, входящем в международную базу цитирования Scopus, 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получен патент РФ на полезную модель №117838.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка используемой литературы включающего 176 источника, в том числе 9 на иностранном языке. Содержание диссертации включает 117 страниц основного текста. Работа включает 27 рисунков, 15 таблиц и приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введение обоснована актуальность темы диссертационной работы. В нем сформулирована цель работы, определена научная новизна и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» выполнен анализ способов очистки зернового материала, классификация решет и отверстий решет зерноочистительных машин и принципы разделения зернового вороха, проанализированы параметры относительного движения зерна по решетку.

Из проведенного анализа установлено, что наиболее перспективными направлениями при создании зерноочистительных машин в настоящее время являются поиск универсального, простого, многофункционального метода очистки зерна; развитие методов очистки зерна от трудноотделимых примесей по новым критериям разделения; развитие традиционных методов очистки и сепарации зерна.

Одним из путей интенсификации процесса сепарации зерна на плоских решетках является усложнение закона его колебаний по прямолинейной (условно) траектории. Установлено, что в настоящее время практически отсутствуют исследования технологического процесса сепарации зерна на решетках с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к продольной оси решета. Предельная скорость движения зерна по решетку служит ограничивающим фактором его работы, что может оказаться особенно актуальным в случае применения решета с наклонными продолговатыми отверстиями.

Общими недостатками, рассмотренных выше зерноочистительных машин, является неуниверсальность метода очистки зерна; слабое развитие методов очистки зерна от трудноотделимых примесей по новым критериям разделения; большие потери полноценного зерна в процессе очистки. Поэтому в настоящей работе рассмотрено поведение зернового вороха на поверхности подсевного

решета, совершающего круговые движения и влияние усложнение закона колебаний на повышение качества очистки зернового материала.

Во второй главе «Теоретические исследования процесса сепарации зерна на плоских решетках с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом, совершающих круговые движения» рассмотрены основные задачи теоретических исследований по выявлению зависимостей между параметрами зернового материала и равномерностью распределения семян по площади решета, с целью определения рациональных показателей работы решетного стана, которые будут уточнены экспериментальными исследованиями.

Для определения траектории движения зерновки воспользуемся вторым законом Ньютона в дифференциальной форме (1), принимая, что зерновка движется по решетке без отрыва.

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2}m = \sum_{i=1}^n F_{xi} \\ \frac{d^2y}{dt^2}m = \sum_{i=1}^n F_{yi} \\ \frac{d^2z}{dt^2}m = \sum_{i=1}^n F_{zi} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Силы, действующие на зерновку в системе координат $Oxyz$, проходящей осью Oz через ось электродвигателя (рисунок 1):

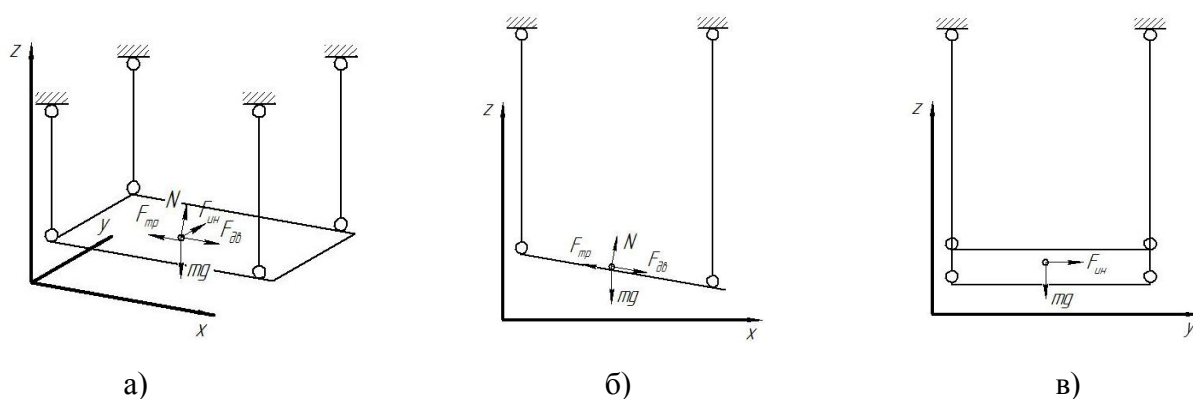


Рисунок 1. – Силы, действующие на зерновку: а – в системе координат $Oxyz$; б – в плоскости XZ ; в – в плоскости YZ

1. Движущая сила – $F_{дв}$.
2. Сила тяжести зерновки – G .
3. Сила центробежной инерции – $F_{ин}$.

4. Сила трения – $F_{\text{тр}}$.

Рассмотрим каждую силу в отдельности.

Движущая сила. Так как вал электродвигателя имеет постоянную угловую скорость ω , то угол поворота кривошипа можно представить как $\varphi = \omega t$, следовательно, перемещение по осям координат можно записать

$$\begin{aligned} x &= r \cdot \cos(\varphi) = r \cdot \cos(\omega t) \\ y &= r \cdot \sin(\varphi) = r \cdot \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (2)$$

Продифференцировав перемещение (2) по времени, найдём проекции переносной скорости

$$\begin{aligned} V_x &= \frac{dx}{dt} = -\omega \cdot r \cdot \sin(\omega t) \\ V_y &= \frac{dy}{dt} = \omega \cdot r \cdot \cos(\omega t) \end{aligned} \quad (3)$$

Продифференцировав (3) ещё раз получим переносные ускорения

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{dV_x}{dt} = -\omega^2 \cdot r \cdot \cos(\omega t) \\ a_y &= \frac{dV_y}{dt} = -\omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (4)$$

На основании чего можно записать уравнение движущей силы в матричной форме

$$F_{\text{дв}} = m \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} -\omega^2 \cdot r \cdot \cos(\omega t) \\ -\omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Сила тяжести. Действует в противоположенную сторону направления оси Oz, что в матричной форме запишется

$$G = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Сила центробежной инерции. Так как зерновка находится на вращающемся решете, то на неё будет действовать сила центробежной инерции, которая определяется следующим уравнением $F_{\text{ин}} = m \cdot a_{\text{ц}}$, где m – масса зерновки; $a_{\text{ц}}$ – центростремительное ускорение.

В нашем случае матричная форма записи силы центробежной инерции будет выглядеть

$$F_{\text{ин}} = \begin{pmatrix} \omega^2 \cdot m \cdot r \cdot \cos(\alpha) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где α – угол наклона решета.

Сила трения. Согласно справочной литературе по зерноочистке расчет ведут по углу трения зерновки о решето $\psi = \text{tg}26^\circ$, то сила трения в матричной форме запишется

$$F_{\text{тр}} = \begin{pmatrix} g \cdot m \cdot \psi \cdot \sin(\omega t) \\ -g \cdot m \cdot \psi \cdot \cos(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Дважды проинтегрировав выражение (1) по времени с подстановкой формул (2)-(8) мы получим координаты траектории зерновки в системе координат $Oxzy$ установки

$$\begin{cases} S_x(t) = \frac{2\omega^2 \cdot r \cdot \cos(\omega t) - 2\psi \cdot g \cdot \sin(\omega t) + \omega^4 \cdot r \cdot t^2 \cdot \cos(\alpha)}{2\omega^2} \\ S_y(t) = \frac{\omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega t) + \psi \cdot g \cdot \cos(\omega t)}{\omega^2} \end{cases}. \quad (9)$$

Для определения траектории зерновки относительно решета необходимо перейти к системе координат $Ox'y'z'$. Новая система координат ориентирована следующим образом: Ox' – расположена поперек решета; Oy' – вдоль решета; Oz' – перпендикулярно решету.

Для перехода к новой системе координат $Ox'y'z'$ воспользуемся матрицей поворота.

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ 0 & -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix}. \quad (10)$$

В новой системе координат силы запишутся следующим образом:

Движущая сила.

$$F'_{\text{дв}} = F_{\text{дв}} \cdot M. \quad (11)$$

Сила тяжести.

$$G' = G \cdot M. \quad (12)$$

Сила центробежной инерции.

$$F'_{ин} = F_{ин} \cdot M. \quad (13)$$

Сила трения.

$$F'_{тр} = \begin{pmatrix} G'_z \cdot \psi \cdot \sin(\omega t) \\ G'_z \cdot \psi \cdot \cos(\omega t) \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Дважды проинтегрировав выражение (1) по времени с подстановкой формул (11)-(14) мы получим координаты траектории зерновки в системе координат $Ox'y'z'$ решета

$$\begin{cases} S_x(t) = \frac{2 \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos(\omega t) + 2 \cdot \psi \cdot g \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\alpha) + \omega^4 \cdot r \cdot t^2 \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot \omega^2} \\ S_y(t) = \frac{2 \cdot \psi \cdot g \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(\alpha) - \omega^2 \cdot g \cdot t^2 \cdot \sin(\alpha) + 2 \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos(\alpha)}{2 \cdot \omega^2} \end{cases}. \quad (15)$$

Выполнив расчеты в системе компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования Mathcad по уравнениям (9) и (15) были получены соответственно графики, характеризующие траекторию движения зерновки (рисунок 2 и рисунок 3).

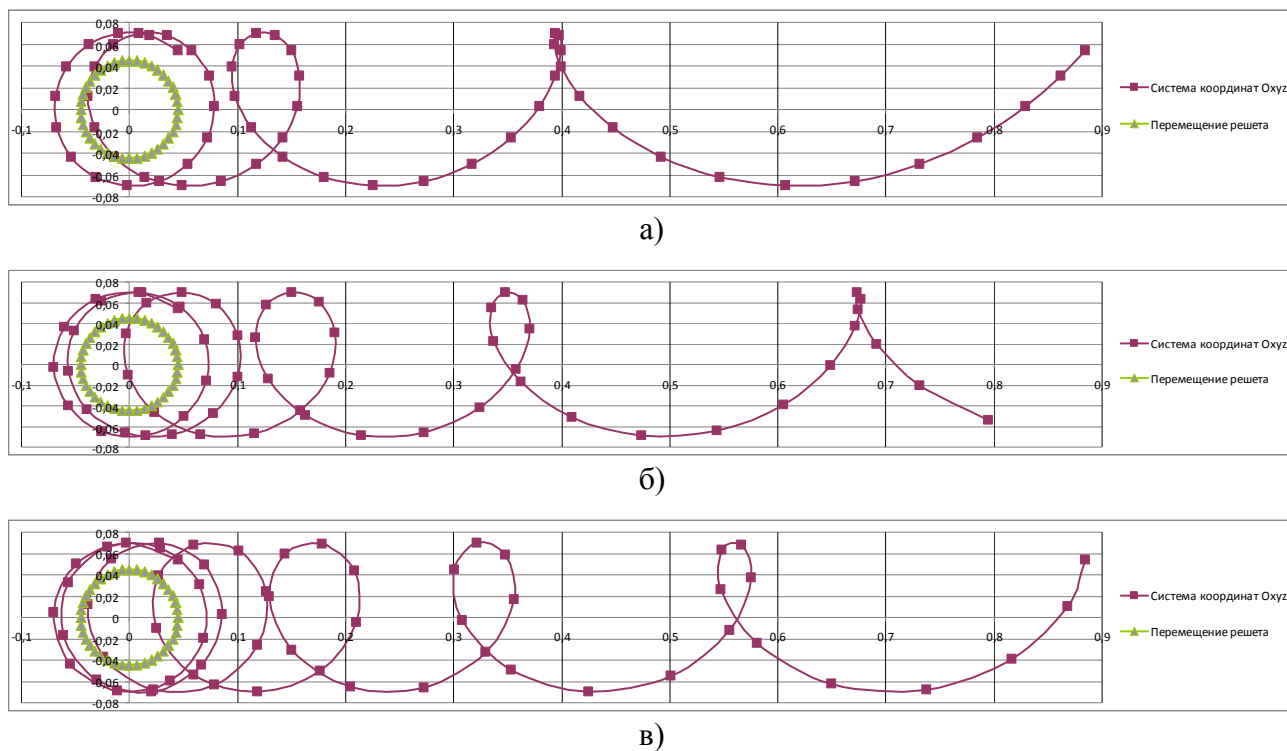


Рисунок 2 – Траектории перемещения зерновки и решета: а – при частоте вращения решета 80 мин^{-1} ; б – при частоте вращения решета 110 мин^{-1} ; в – при частоте вращения решета 140 мин^{-1}

Траектория движения, представленная на рисунке 2, описываемая уравнением (9), представляет собой циклоиду. В зависимости от частоты вращения решета циклоида может быть укороченной или удлиненной. В нашем случае при заданных параметрах частоты вращения $n = 80 \dots 140 \text{ мин}^{-1}$ зерновка начинает движение по решету, совершая круговое перемещение, которое

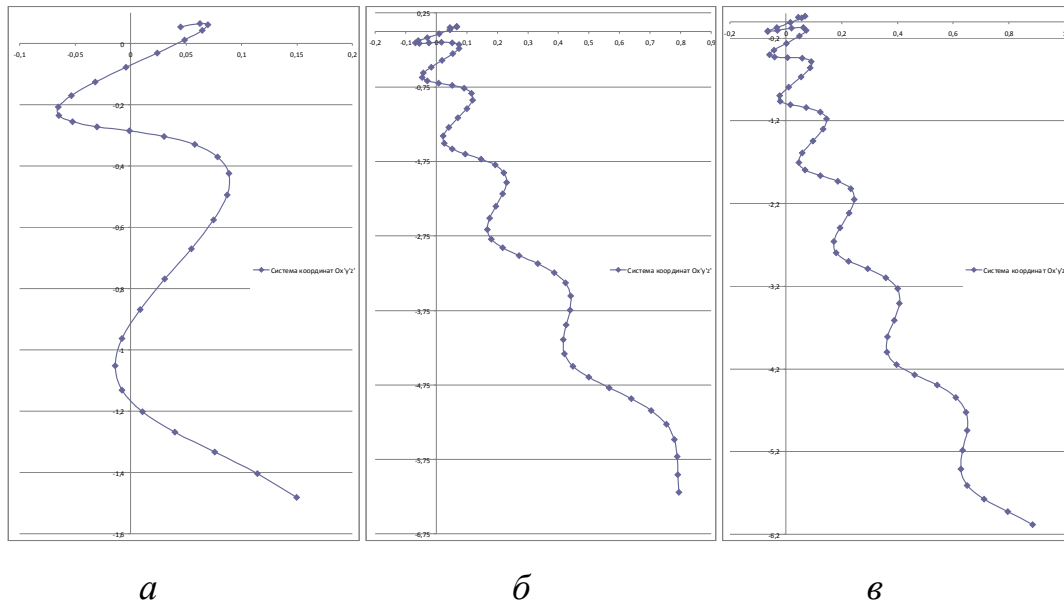


Рисунок 3 – Перемещение зерновки по решету в системе координат, расположенной в плоскости решета: а – при частоте вращения решета 80 мин^{-1} ; б – при частоте вращения решета 110 мин^{-1} ; в – при частоте вращения решета 140 мин^{-1} переходит в удлиненную циклоиду с последующим увеличением расстояния между витками.

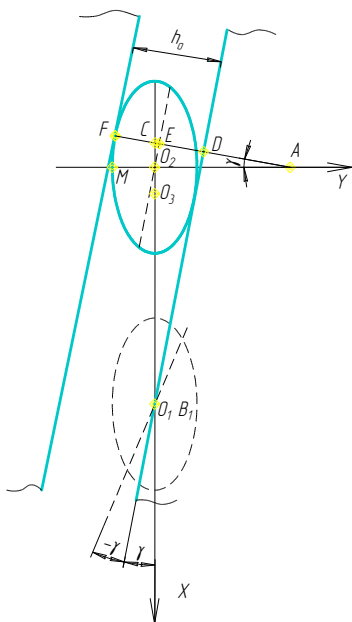


Рисунок 4. Расчетная схема в плоскости решета

Траектория движения зерновки по решету в системе координат, находящейся в его плоскости, определяется уравнением (15) и представляет собой синусоиду (рисунок 3). В момент начала движения зерновки по решету, она совершает перемещение по синусоиде с малым периодом, который в последующем увеличивается.

На повышение равномерности распределения зернового материала по всей площади решета, значительно влияет предельная скорость движения зерна, которая зависит от формы, расположения,

размеров отверстия решета, а также размеров и формы частицы.

Для определения предельной скорости воспользуемся расчетной схемой представленной на рисунке 4, где γ угол между продольной гранью отверстия и продольной осью частицы.

При полете частицы в зоне отверстия, до соприкосновения с противоположной кромкой отверстия ее центр тяжести перемещается из точки O_1 в точку O_2 под действием начальной скорости относительного движения, которая направлена параллельно плоскости решета, и ускорения свободного падения, следовательно проекция этого пути на плоскость решета равна:

$$O_1O_2 = O_1O_3 + O_3O_2 = V_{np} \cdot t + \frac{b}{2} \cdot tg\alpha \quad (16)$$

где: $O_1O_3 = V_{np} \cdot t$ – составляющая пути вдоль решета, обусловленная начальной скоростью частицы;

$O_3O_2 = \frac{b}{2} \cdot tg\alpha$ – составляющая пути вдоль решета, обусловленная свободным падением частицы;

α – угол продольного наклона решета.

Размер O_1O_2 находим из соотношения:

$$O_1O_2 = \frac{O_2C \cdot CD}{CE}, \quad (17)$$

где: $O_2C = AC \cdot \sin \gamma$, $AC = (AM - O_2M) / \cos \gamma$, $CD = AC - AD$,
 $AD = AF - FD$, $CE = O_2C \cdot \sin \gamma$.

После преобразования уравнения (17) получим:

$$O_1O_2 = \frac{(R_1 - b/2) / \cos \gamma - R_1 + h_0}{\sin \gamma} - (R_1 - b/2) \cdot tg\gamma \quad (18)$$

где: R_1 – большой радиус кривизны боковой поверхности частицы.

По условию свободного падения частицы ее путь по вертикали равен:

$$O_3 O_2 = \frac{g \cdot t^2}{2} = \frac{b \cdot \cos \alpha}{2} \quad (19)$$

где: g – ускорение свободного падения.

Решая совместно уравнения (16), (17) и (18) с учетом знака угла γ получим:

$$V_{np} = \left(\frac{(R_1 - b/2) \cos \gamma - R_1 + h_0}{\pm \sin \gamma} \mp (R_1 - b/2) \cdot \operatorname{tg} \gamma - \frac{b \cdot \cos \alpha}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \cos \alpha}{b}} \quad (20)$$

верхние знаки берутся при $\gamma > 0$, нижние при $\gamma < 0$.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» представлены характеристика лабораторной установки, программа и методика экспериментальных исследований, которые включают в себя определение параметров работы плоского решета, изучение процесса распределения зернового материала на поверхности решета, проведение отсеивающего и многофакторного экспериментов.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке (рисунок 5).

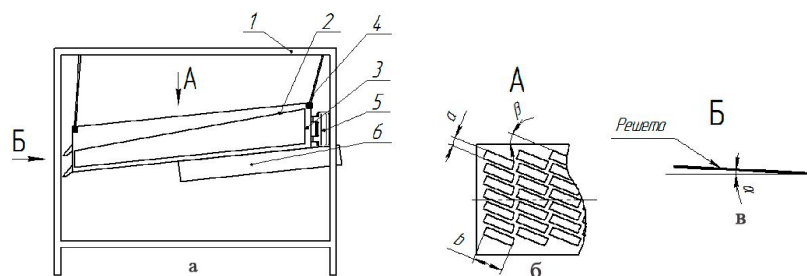


Рисунок 5 – Схема лабораторной установки: а – общий вид; б – вид А; в – вид Б; 1 – корпус; 2 – решето прямоугольной формы; 3 – решетный стан; 4 – шарнирные тяги; 5 – электродвигатель; 6 – привод

Лабораторная установка содержит корпус, решето прямоугольной формы, установленное в решетном стане, решетный стан подвешен на шарнирных тягах и приводится в движение от электродвигателя и привода, позволяющего обеспечить круговые движения.

Привод решетного стана выполнен в виде кривошипа с фиксированным радиусом. Поэтому нами было принято решение принять амплитуду колебаний решета $A = \text{const}$ (постоянной величиной, равной $A = 0,09$ м.). Увеличение или уменьшение радиуса кривошипа решета, пропорционально влияет на изменение амплитуды колебаний решета. При амплитуде отличной от 0,09 м в большую сторону, наблюдается неустойчивый процесс сепарации, а решетный стан совершает хаотичное движение. При амплитуде меньше 0,09 м очистка зернового материала прекращается.

Установка работает следующим образом: зерновой ворох поступает на решетный стан, в котором установлено решето прямоугольной формы, с отверстиями расположенными под углом, например 35° к направлению продольной оси решета, а само решето установлено под углом, например 5° к горизонту. Решето выполнено прямоугольной формы и имеет прямоугольные отверстия размерами $a \times b$, причем $b > a$, расположенные под углом к направлению движения зерна. Электродвигатель через привод осуществляет круговое движение решетного стана, на решете происходит разделение вороха на два потока – чистое зерно (сход) и засоритель (проход).

За счет совокупного применения круговых движений, а также отверстий, расположенных под углом, вероятность попадания частицы засорителя в отверстия возрастает, что соответственно влечет к повышению производительности решетного стана и качеству очистки. Проходной материал, пройдя отверстия решета, попадает на скатную доску и собирается в специальных лотках. Очищенное зерно основной культуры, скользя по решету, выводится за пределы решетного стана, так же накапливается в лотках.

Сущность показателя качества очистки зернового материала зависит от полноты разделения.

$$\varepsilon = \frac{P}{P_0 \cdot a}, \quad (21)$$

где P – количество зерна, выделенного решетом за время опыта, кг;

P_0 – общее количество зерна, поступившего на решето за время опыта, кг;

a – относительное содержание проходовой фракции в исходном материале.

Полученные данные обработаны методом математической статистики с применением ПЭВМ.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты лабораторных и производственных исследований. Приведены зависимости β , ϵ , G и n , ϵ , β при значении показателей на минимальном, основном и максимальном уровнях варьирования.

В лабораторных исследованиях для определения рациональных параметров решета, применялся классический, отсеивающий и планируемый эксперименты. Для описания закономерностей качественного разделения зернового материала, принят симметричный композиционный ортогональный план Плакетта-Бермана с тремя факторами – n , β , G .

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с выбранным планом и выполнялось двенадцать экспериментов с четырьмя повторностями.

Таблица 1. Уровни варьирования факторов

Фактор (натуральное значение) Кодированное обозначение	n	β	G
	X_1	X_2	X_3
Основной	110	45	1,49
Интервал варьирования	30	15	0,52
Верхний уровень	140	60	2,01
Нижний уровень	80	30	0,97
Звездная точка +а	146,45	63,225	2,1218
Звездная точка -а	73,55	26,775	0,8582

После реализации многофакторного эксперимента получено уравнение регрессии, описывающее качество разделения зернового материала.

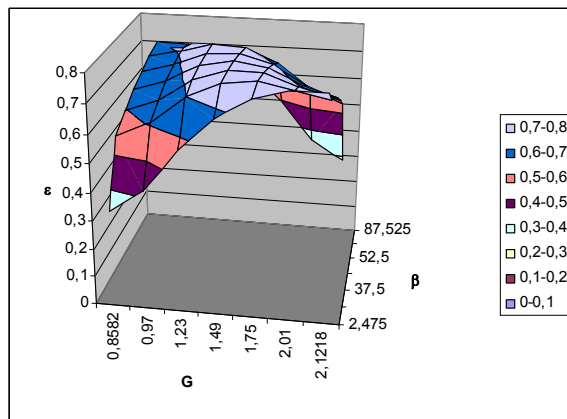
$$\begin{aligned}
 Y = & -0,968667483 + 0,00278789 X_1 + 0,014645981 X_2 + 1,853478663 X_3 + \\
 & + 1,73083 \cdot 10^{-5} X_{12} - 0,005653125 X_{13} - 0,00795625 X_{23} + 1,13361 \cdot 10^{-5} X_1^2 - \\
 & - 6,20146 \cdot 10^{-5} X_2^2 - 0,289794818 X_3^2,
 \end{aligned}
 \quad (22)$$

Модель признана адекватной на 5 % уровне по критерию Фишера ($F_{\text{расч}}=2,01 < F_{\text{табл}}=2,05$).

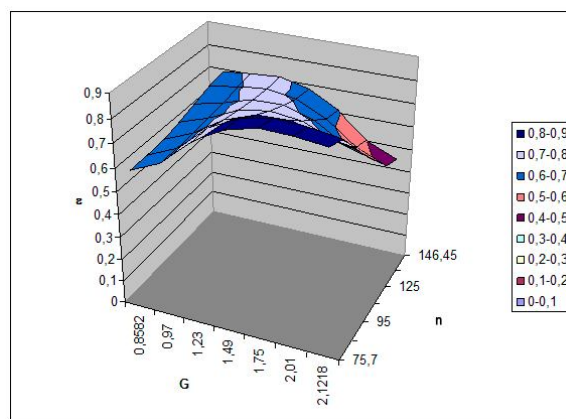
При переводе кодированных величин в натуральные уравнение регрессии приняло вид:

$$Y = 6,844 \cdot G + 0,00250 \cdot \beta + 0,000579 \cdot n - 1,072 \cdot G^2 - 0,00103 \cdot G \cdot \beta - 0,000326 \cdot G \cdot n - 8,841 \quad (23)$$

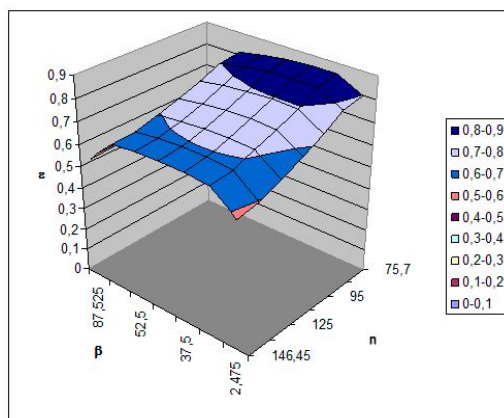
На основании уравнения регрессии получены зависимости качества разделения зернового материала (рисунок 6).



а)



б)



в)

Рисунок 6. Геометрическое представление функции отклика: а – $\varepsilon = f(\beta, G)$ при постоянной частоте вращения решета, $n = 110 \text{ мин}^{-1}$; б – $\varepsilon = f(n, G)$ при постоянном угле наклона длинных кромок прямоугольных отверстий решета к его продольной оси, $\beta = 45^\circ$; в – $\varepsilon = f(n, \beta)$ при постоянной нагрузке на решето, $G = 1,49 \text{ кг/м}^2\text{с}$

По результатам полно-факторного эксперимента можно сделать следующие выводы.

Минимальная полнота разделения зернового вороха наблюдается при максимальной частоте вращения решета и большем угле наклона кромок отверстий. Это объясняется тем, что зерновой материал не успевает задержаться на поверхности решета и, принимая критическую скорость, соскальзывает в сход.

С целью увеличения времени нахождения зерновки на поверхности решета необходимо использовать минимальную частоту вращения 80 мин^{-1} . Однако при таких технологических параметрах повышается качество разделения зернового материала, но при этом снижается его производительность, поэтому оптимальными выбраны значения частоты вращения решета 110 мин^{-1} , угол наклона длинных кромок прямоугольных отверстий решета к его продольной оси 45° и удельная нагрузка на решето $1,49 \text{ кг/м}^2\text{с}$.

Выбранные величины позволяют качественно проводить очистку зернового вороха на фракции в соответствии агротехническим требованиям.

В пятой главе «Расчет экономической эффективности» приведена экономическая оценка использования разработанного решетного стана. Рассчитанный годовой экономический эффект от применения разработанного решетного стана, совершающего круговые движения составит 64028 рублей, а срок окупаемости составляет один год.

Общие выводы и предложения

1. Изучен процесс сепарации зернового материала на решетках с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом, совершающих круговые движения и обоснованы параметры работы плоского решета.

2. Получена математическая модель (2.12) относительного движения частицы по решету при взаимодействии с кромкой продолговатого отверстия, расположенного под углом, совершающей круговые движения, позволяющие определить траекторию движения частицы. Установлено, что траектория движения частицы, представляет собой циклоиду, переходящую в удлиненную форму, с последующим увеличением расстояния между витками. Такая траектория увеличивает вероятность попадания зерновки в отверстие решета, при этом ориентация зерновки по отношению к отверстиям решета меняется в несколько раз быстрее, чем при возвратно-поступательном движении.

3. Теоретически установлено, что расположение прямоугольных отверстий под углом к направлению движения зерна при круговых колебаниях увеличивает вероятность прохода частицы в отверстие в 1,74 раза при угле расположения кромки отверстия $\beta = 45^\circ$.

4. На основании теоретических и экспериментальных исследований, получены рациональные конструктивно-режимные параметры решета, позволяющие интенсифицировать технологический процесс сепарации. Процесс сепарации улучшается при угле наклона отверстий решета $\beta = 45^\circ$, частота колебаний решета $n = 110 \text{ мин}^{-1}$, амплитуда колебаний решета $A = 0,09 \text{ м}$, угол поперечного наклона решета $\alpha_{\text{п}} = 1,5^\circ \div 2,5^\circ$. На этом режиме работы, очистка зерновой смеси проводится качественно в соответствии с агротехническими требованиями.

5. Результаты теоретических и экспериментальных исследований производительности подсевного решета с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом, совершающего круговые движения имеет расхождение не более 5%.

6. Расчетный годовой экономический эффект от применения разработанного решетного стана, совершающего круговые движения составил 64028 рублей, а срок окупаемости – один год.

Основные публикации по теме диссертации

В журналах, входящих в международную базу цитирования Scopus

1. Experimental registrations of plain sieve operation, making transverse fluctuations / U.K. Sabiev, E.V. Demchuk, **A.Yu. Golovin**, I.V. Skysanov. В сборнике Mechanical Science and Technology Update (MSTU-2018) IOP Publishing IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1050 (2018) 012074 doi :10.1088/1742-6596/1050/1/012074.

Публикации в рецензируемых изданиях рекомендованных ВАК

2. Сабиев, У.К. Решетный стан зерноочистительной машины / У.К. Сабиев, **А.Ю. Головин** // Тракторы и с.-х. машины. – 2013. – №4. – С. 13.

3. **Головин, А.Ю.** Интенсификация процесса сепарации зерна / А.Ю. Головин, С.П. Прокопов. // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2015. – №2. – С. 75-76.

4. **Головин, А.Ю.** Траектория движения зерновки по решету, совершающего круговые движения / А.Ю. Головин, У.К. Сабиев, А.С. Союнов // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – №4. – С. 204-210.

Патенты

5. Патент РФ на полезную модель №117838 МПК А U1 РФ МКИ³ (2012.01). Решетный стан / Сабиев У. К., **Головин А. Ю.**; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ОмГАУ. – № 2012104971; опубликован 13.02.2012.

6. Информационный листок № 55-031-12 / Решетный стан / сост.: **Головин А.Ю.**, Сабиев У.К. – Омск : [б. и.], 2012. – 4 с.

Публикации в журналах, сборниках научных трудов,

материалах конференций

7. **Головин, А.Ю.** Обзор и анализ путей обеспечения качества послеуборочной обработки зерна / А.Ю. Головин // Всероссийская 65-я научно-техническая конференция ФГБОУ ВПО «СибАДИ (с международным участием) – Омск, 2011. – С. 254-256.

8. **Головин, А.Ю.** Модернизация решетного стана / А.Ю. Головин // Материалы регионально-практической конференции посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2013. – С. 56-59.

9. Майорова, М.Ю. Анализ и пути совершенствования рабочих органов зерноочистительных машин / М.Ю. Майорова, **А. Ю. Головин** // Новая наука: Проблемы и перспективы: Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (4.02.2016 г. гор. Стерлитамак). / в 3 ч. Ч.1 – Стерлитамак:РИЦ АМИ, 2016. – 212 с.

10. Сабиев, У.К. Результаты экспериментальных исследований факторов, влияющих на работу плоского решета, совершающего поперечные колебания / У.К. Сабиев, **А.Ю. Головин**, И.В. Скусанов // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития: сборник материалов науч.-прак. конф. – Омск, 2017. – С. 112-117.

Публикации в других изданиях

11. Коваль, В.С. Машины для уборки и обработки зерна. Часть 2 учебное пособие / В.С. Коваль, А.В. Черняков, Е.В. Демчук, **А.Ю. Головин**. – Омск : Изд-во ФГБОУ ВПО ОмГАУ им. П.А. Столыпина, 2014. – 104 с.