

На правах рукописи



ЗАХАРОВ Станислав Евгеньевич

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕШЕТА С ПЛАНЕТАРНЫМ ВРАЩЕНИЕМ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск 2017

Работа выполнена в Сибирском федеральном научном центре агробиотехнологий Российской академии наук. Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (СибИМЭ СФНЦА РАН)

Научный руководитель: доктор технических наук,
Сибирский федеральный научный центр
Агробиотехнологий Российской академии наук
Иванов Николай Михайлович

Официальные оппоненты : **Патрин Василий Александрович**,
Доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО Новосибирский государственный
аграрный университет, профессор кафедры
«Безопасность жизнедеятельности»

Стрикунов Николай Иванович
Кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО Алтайский государственный
аграрный университет, доцент кафедры
«Сельскохозяйственной техники и технологий»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО Омский
государственный аграрный университет
им. П.А. Столыпина

Защита диссертации состоится «16» декабря 2017 года в 10 ч. на заседании диссертационного совета Д212.004.02 при ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, факс +7(3852) 36-71-29. официальный сайт: <http://www.altstu.ru>; электронный адрес: epb_401@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», автореферат и диссертация размещены на сайте http://www.altstu.ru/media/f/Dissertaciya_Zaharov-S.E..pdf.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью Вашего учреждения, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д.т.н., профессор



Куликова Лидия Васильевна

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Крупным резервом увеличения производства зерна, наряду с повышением урожайности зерновых и зернобобовых культур, является сокращение потерь урожая при послеуборочной обработке, а также улучшения качества семенного материала. Особенно актуальна эта задача для западной Сибири, где уборка и послеуборочная обработка проводятся в сжатые сроки и, в большинстве случаев, при неблагоприятных условиях погоды. На качество работы систем послеуборочной обработки существенно влияют характеристики свежесобранного зернового вороха. Поэтому эффективность послеуборочной обработки зерна в значительной степени определяется показателями работы машин предварительной очистки. Наиболее распространенный и эффективный способ очистки и сортирования зерна в настоящее время - сепарация на решетках. При этом в основном применяются плоские решета, но они имеют ограниченную производительность на единицу рабочей поверхности. Главное достоинство горизонтального цилиндрического решета - возможность использовать в качестве фактора, определяющего процесс сепарации, инерционные силы, тем самым увеличить скорость и производительность решета. Недостатками таких решет является слабое перераспределение в них зерна и неполное использование сепарирующей поверхности. Поэтому поиск решений интенсифицирующих сепарации с помощью цилиндрических решет является актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Вопросам повышения эффективности процесса сепарации зернового материала на центробежных решетках посвящены работы Н.Е. Авдеева, А.И. Буркова, А.В. Барилла, В.В. Гортинского, В.М. Дринчи, Ю.И. Ермольева, А.Н. Журавлева, А.Н. Зюлина, Н.М. Иванова, В.А. Кубышева, А.А. Князева, И.П. Лапшина, М.Н. Летошнева, С.В. Леканова, В.А. Патрина, Г.Т. Павловского, Н.И. Стрикунова, Б.Т., Тарасова, В.Р. Торопова, П.А. Фетисова, В.М. Халанского, А.А. Хижникова и других ученых. Основными направлениями повышения эффективности решетной сепарации являются:

1. Использование сложных полей инерционно-гравитационных сил.
2. Оптимизация конструктивных параметров и режимов работы технических средств.

Результаты этих исследований послужили теоретической основой для исследования процессов сепарации сыпучих материалов и определения пути их дальнейшего развития.

Научная гипотеза. Интенсификация процесса сепарации зерна может быть обеспечена за счет применения сложного поля инерционных сил при планетарном вращении цилиндрических решет, что позволит повысить скорости вращения решета, увеличить площади его контакта с рабочей поверхностью решета, повысить динамические характеристики

обрабатываемого зерна и улучшить перераспределение компонентов зернового вороха

Цель исследования. Интенсификация технологического процесса сепарации зерна, на стадии предварительной очистки, путем применения цилиндрического решета с планетарным вращением.

Объект исследования. Технологический процесс сепарации зерна на горизонтальных цилиндрических решетах с планетарным вращением.

Предмет исследования. Закономерности процесса сепарации зерна, на горизонтальных цилиндрических решетах с планетарным вращением.

Научная новизна и теоретическая значимость.

1. Предложена технологическая схема и установлены закономерности процесса сепарации зерна цилиндрическом решете, совершающем планетарное вращение.

2. Получены зависимости, определяющие основные конструктивно-режимные параметры планетарного решета.

Новизна технического решения подтверждена патентом РФ на изобретение № 2274500.

Практическая значимость.

Предложена технологическая схема цилиндрического решета, совершающего планетарное вращение. Обоснованы конструктивно-режимные параметры цилиндрического решета. Результаты исследований могут быть использованы конструкторскими организациями для разработки новых зерноочистительных машин, а также в учебно-методических целях.

Методология и методы исследования. Общей методологической основой исследований были системный подход, методы математической статистики и регрессионного анализа. Теоретические исследования выполнялись с использованием положений, законов и методов классической механики, математики и математического моделирования. При обработке результатов исследований использовались программы STATISTICA и MATHCAD.

Основные положения, выносимые на защиту:

- технологическая схема цилиндрического решета, совершающего планетарное вращение;
- закономерности процесса сепарации зерна на планетарном цилиндрическом решете;
- конструктивно-режимные параметры решета.

Степень достоверности исследования подтверждается:

- применением стандартных методов и методик исследования, с соблюдением требований и рекомендаций соответствующих стандартов;
- применением ПК при математическом анализе и статистической обработке результатов исследования;
- применением измерительных приборов, прошедших поверку.

Реализация результатов работы. Проведена производственная проверка экспериментального образца цилиндрического решета совершающего планетарное вращение в ФГУП "Элитное", результаты

исследований приняты к использованию при разработке новой сельскохозяйственной техники ОАО «САД»..

Публикации. По теме диссертации опубликованы 9 научных работ, в том числе две в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Апробация результатов исследования.

Основное содержание отдельных вопросов диссертационной работы докладывались на:

- годовом собрании СО РАСХН (Новосибирск, СО Россельхозакадемии, 2005, 2007 гг);
- на региональной конференции в Омском СХИ (2003 г), посвященной 50-ти летию освоения целины,
- в Инженерном институте (НГАУ) на конференции, посвященной 60-ти летию основания (2004г);
- на конференции молодых ученых, приуроченной к 35-ти летию со дня основания СО РАСХН (2004...2006 гг),
- на заседаниях ученого совета и лаборатории №5 ФГБНУ СибИМЭ Россельхозакадемии (2004...2017 г.);
- на международной научно-технической конференции « Научно-техническое обеспечение АПК Сибири» (2017 г.)

Структура и объем работы. Содержание работы изложено на 156 страницах, включает 4 таблицы, 54 рисунка. Библиографический список включает 118 наименований, в том числе 9 источников на иностранном языке.

Исследования проводились в соответствии с заданиями тематического плана ФГБНУ СибИМЭ Россельхозакадемии 09.01.01.04 «Разработать для условий Сибири машинные технологии послеуборочной обработки зерна и семян на основе реализации принципов универсальности, ресурсосбережения для хозяйств различного уровня производства».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель исследований и основные положения, выносимые на защиту

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» дан анализ результатов исследований технических средств предварительной обработки зерна, факторов, влияющих на эффективность процесса сепарации, способов повышения производительности зерноочистительных машин.

Процесс сепарации можно интенсифицировать его оптимизацией и управлением с использованием существующих рабочих органов, а также с применением новых, более совершенных технологий и оборудования. Для того, чтобы существенно интенсифицировать технологические процессы сепарации, повысить в несколько раз удельную производительность сепарирующих органов и улучшить качество их работы, необходимо идти по

пути изыскания и исследования новых рабочих органов. Нами предложено придать цилиндрическому решету с горизонтальной осью угол наклона и планетарное вращение. За счет этих решений и сложного инерционно-гравитационного силового поля может быть достигнуто интенсивное перемещение зернового слоя, увеличение площади его контакта с поверхностью решета и перераспределение компонентов зернового вороха.

Для достижения поставленной цели, сформулированы следующие **задачи исследования**:

1. Разработать технологическую схему и выявить основные закономерности процесса сепарации при планетарном вращении цилиндрических решет с горизонтальной осью вращения.
2. Обосновать основные конструктивно-режимные параметры процесса сепарации.
3. Провести производственную проверку и дать оценку эффективности основных результатов исследований.

Во второй главе «Теоретические исследования процесса сепарации на горизонтальных цилиндрических решетах при планетарном вращении» дано обоснование параметров зернового ядра на поверхности решета, анализ движения зерновки по поверхности решета, совершающего планетарное движение, проведен анализ факторов, влияющих на процесс сепарации зернового вороха.

Модель сепарации зернового вороха на горизонтальном цилиндрическом решете с планетарным вращением представлена на рисунке 1

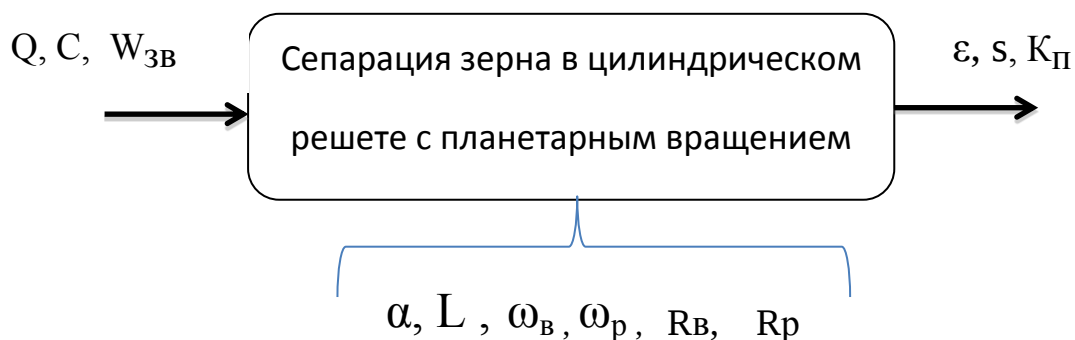


Рисунок 1 – Схема процесса сепарации зернового вороха на горизонтальном цилиндрическом решете с планетарным вращением

В качестве входных воздействий принято: Q – подача зернового вороха; C – засоренность зернового вороха; $W_{зв}$ – влажность зернового вороха. Управляющими воздействиями являются: α – угол наклона решета; L – длина цилиндрического решета; ω_v – частота вращения водила; ω_p – частота вращения цилиндрического решета; R_p – радиус цилиндрического решета; R_v – радиус водила. Выходными параметрами являются: ε – эффективность очистки зернового вороха, %; s – потери зерна, %; $K_{п}$ – коэффициент использования поверхности решета.

Для определения параметров зернового слоя внутри цилиндрического решета (рисунок 2) под воздействием сложного инерционно-гравитационного силового поля рассмотрены основные виды движения зерновки:

- движение зерновки по поверхности цилиндрического решета без влияния планетарного вращения;
- движение зернового ядра на поверхности решета, совершающим планетарное вращение;
- перемещение зернового материала по решету вдоль оси;
- просеивание зерновых частиц сквозь отверстие.

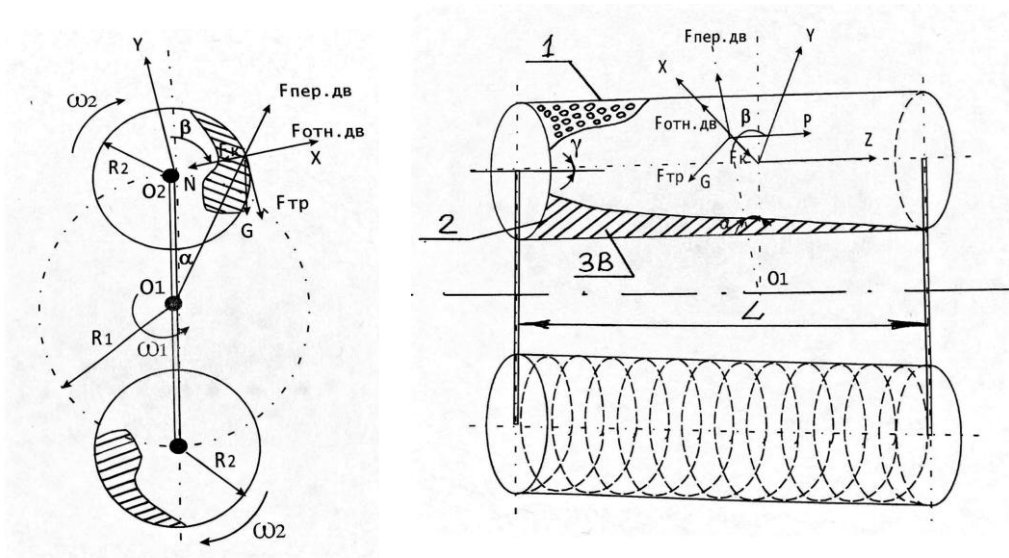


Рисунок 2 - Схема работы цилиндрического решета с планетарным вращением

1 – цилиндрическое решето; 2 - слой зерна в решете.

ЗВ – зерновой ворох; L – длина решета; $R_2(R_p)$ – радиус решета; $R_1(R_B)$ – радиус водила; $\omega_2(\omega_p)$ – угловая скорость решета; $\omega_1(\omega_B)$ – угловая скорость водила; γ - угол наклона решета.

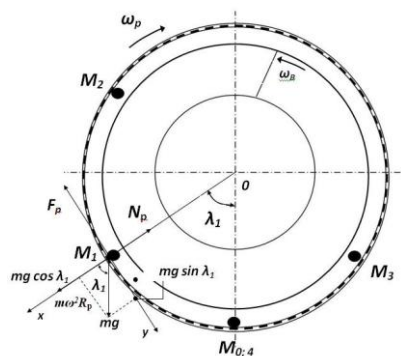


Рисунок 3 – Схема к определению максимального угла поднятия зерна во вращающемся решете

Условие относительного движения зерна по решетке:

$$mg \sin \lambda_1 > (\omega_p^2 R_p + mg \cos \lambda_1) \operatorname{tg} \varphi; \quad (1)$$

$$g \sin \lambda_1 \geq (\omega_p^2 R_p + g \cos \lambda_1) \operatorname{tg} \varphi. \quad (2)$$

Относительный покой на решетке:

$$g \sin \lambda_1 \leq (\omega_p^2 R_p + g \cos \lambda_1) \operatorname{tg} \varphi, \text{ При: } k = (\omega_p^2 R_p)/g, \quad (3)$$

$$N_p = mg(k + \cos \lambda_1) > 0. \quad (4)$$

Максимальное (угол λ_2) поднятие зерновки до точки M_2 определяется из выражения:

$$\sin(\lambda_1 - \varphi) = k \sin \varphi, \quad (5)$$

$$\lambda_2 = \pi/2 + \mu_2, \quad (6)$$

где μ_2 - угол от горизонтальной оси решетки до точки M_2 .

Угол μ_2 всегда меньше $\pi/2$, поэтому $\lambda_2 < \pi$; то есть ни при каких режимах зерно не может оставаться в относительном покое на конце дуги $M_0 M_2$.

Конечное положение зерновки в точке M_3^B под воздействием силового поля определяется углом λ_3^B :

$$\lambda_3^B = \lambda_3 + \psi_B, \quad (8)$$

где ψ_B – угол, характеризующий увеличение площади сепарации за счет действия силового поля;

M_2 - M_3 – определяет длину дуги контакта зернового вороха с решетом.

Для определения положения зернового тела (сегмента) в цилиндрическом решетке, совершающем планетарное вращение, примем, что зерновое сегмент на элементарном участке длины решетки представляется как материальная точка, находящаяся под действием решетки на его внутренней поверхности в точке нормальной проекции центра тяжести. При вращении решетки под действием различных сил сегмент принимает состояние равновесия. При этом материальная точка располагается на поверхности решетки под углом α к вертикальному радиусу в направлении вращения решетки.

Положение зерна на внутренней поверхности вращающегося решета в рассматриваемый момент времени характеризуется углом α между радиусом R_2 , проведенным через точку С его центра тяжести и вертикальным диаметром. Решето вращается со скоростью ω_2 (рисунок 4)

$$m\ddot{x} = -mg \cdot \sin \alpha - P_C \cdot \sin \psi + N \cdot \operatorname{tg} \varphi - mR \frac{d\omega_0}{dt} \quad (9)$$

$$m\ddot{y} = m\omega^2 R_0 + mg \cdot \cos \alpha - N + P_C \cdot \cos \psi - P_{KOP} \quad (10)$$

Учитывая, что :

$R_0 = (R_B + R_P \cdot \cos \varphi)$ преобразуем и окончательно получаем:

Уравнение движения по оси X

$$\begin{aligned} \ddot{x} = & -g \cdot \sin \alpha - g \cdot \frac{\sin^2 \psi}{\cos \psi} + f((\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P) + g \cdot \cos \alpha \\ & + g \cdot \sin \psi - 2(R_B - R_P \cdot \cos \varphi_P) V_R \end{aligned} \quad (11)$$

Из анализа приложенных к зерновке сил определим величину угла подъема центра зернового сегмента на вращающемся решете:

$$\alpha = \varphi' + \arcsin\left(\frac{(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P)}{g} \cdot \sin \varphi + \operatorname{tg} \psi \cdot \sin(\varphi - \psi)\right) \quad (12)$$

Кроме α параметрами, определяющими расположение зернового сегмента на поверхности решета, являются углы верхнего (α_B) и нижнего (α_H) краев на окружности поперечного сечения цилиндров. На величины этих углов влияет Н, по радиусу ОА. Определяем α_B и α_H что необходимо для анализа степени использования решета:

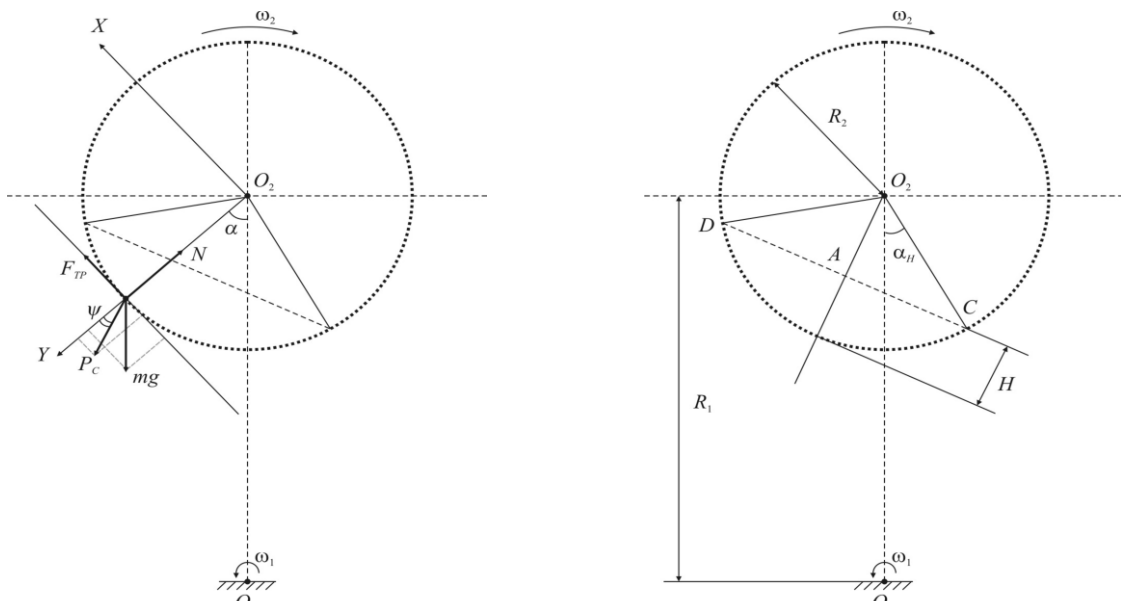
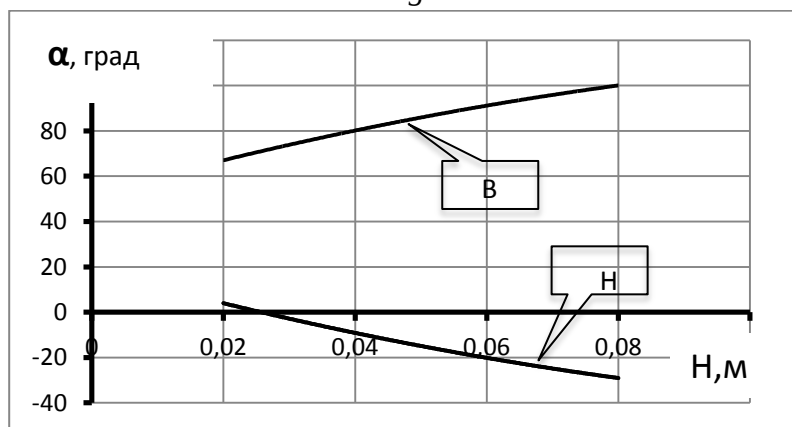


Рисунок 4 - Схема сил, действующих на зерно на внутренней поверхности решета

$$\alpha_B = \varphi' + \arcsin\left(\frac{(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P)}{g} \cdot \sin \varphi + \operatorname{tg} \psi \cdot \sin(\varphi - \psi)\right) + \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right) \quad (13)$$

$$\alpha_H = \varphi' + \arcsin\left(\frac{(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P)}{g} \cdot \sin \varphi + \operatorname{tg} \psi \cdot \sin(\varphi - \psi)\right) - \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right) \quad (14)$$



На положение верхнего (α_B) и нижнего (α_H) углов зернового сегмента влияют конструктивно-кинематические параметры: радиус решета, соотношение радиуса решета и водила, частота вращения решета и водила, высота зернового сегмента.

Рисунок 5- Влияние толщины зернового сегмента H на угол подъема

Согласно произведенным расчетам (рисунок 5), по мере движения вдоль оси решета и просеивания зерна в отверстия решета размер зернового сегмента уменьшается от 130 градусов (в начале решета) до 60 градусов (в конце решета). При этом верхний угол сегмента уменьшается на 34 градуса (с 100° до 66°), а нижний с -30 градусов до 4 .

При изменении радиуса решета с 0,1 м. до 0,4 м. верхний уровень зернового сегмента изменился на 13 градусов (уменьшился с 93° до 80°), в тоже время нижний угол изменился на 53 градуса (с -33° до 20°). Увеличение радиуса решета с 0,1 м. до 0,4 м. уменьшает угол зернового сегмента в два раза (с 126° до 61°). Скорость осевого движения зернового слоя по решету не оказывает существенного влияния на размеры зернового сегмента.

Наиболее существенное влияние на изменение параметров зернового сегмента оказывает частота вращения решета (рисунок 6). Практически при одинаковой величине сегмента (101°) при увеличении частоты вращения с 10с^{-1} до 50с^{-1} он поворачивается на угол $30-35^\circ$, достигая максимального значения при соотношении $\frac{\omega_P}{\omega_B} = k\omega = 1,8$. При $\omega_P = 10\text{с}^{-1}$ соотношение частоты вращения решета и водила не влияет на положение зернового сегмента, однако при увеличении частоты вращения решета до $\omega_P = 50\text{с}^{-1}$ зерновой сегмент вначале перемещается верхним углом до 115° , а затем опускается до 82° , наименьшее значение углов сегмента наблюдается при $\frac{\omega_P}{\omega_B} = k\omega = 2,4$.

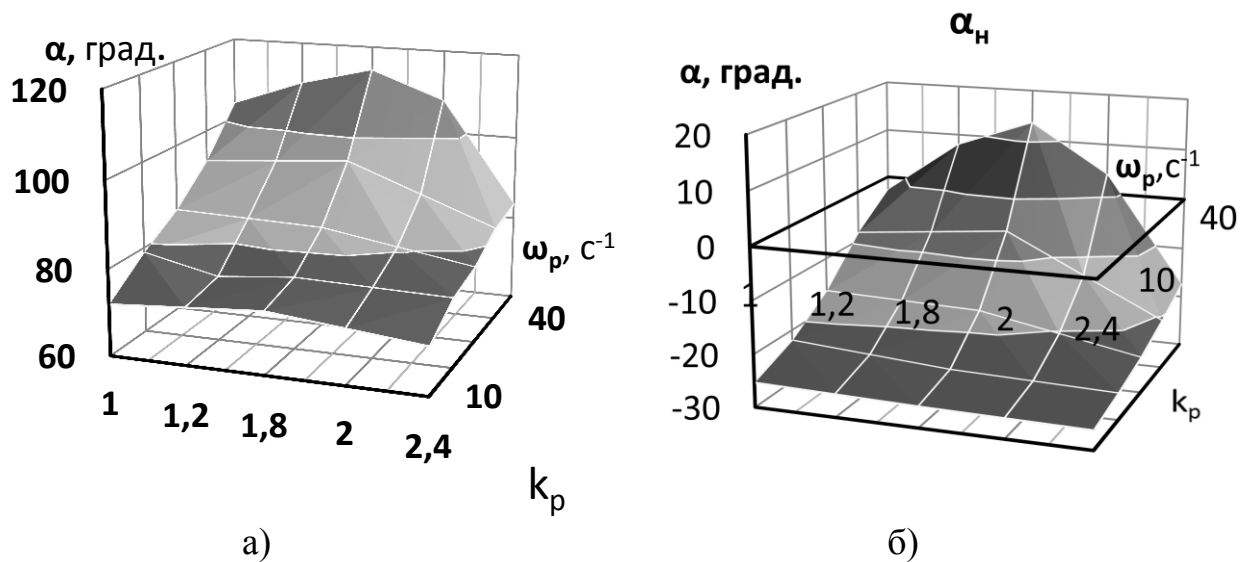


Рисунок 6 - Изменение верхнего (а) и нижнего (б) углов подъема зернового ядра в зависимости частоты вращения решета и соотношения радиусов водила и решета.

При определении скорости осевого перемещения зернового материала в цилиндрическом решете, совершающем сложное планетарное движение учитываем, что основными факторами, влияющими на осевую скорость, являются: q - нагрузка, γ - угол наклона решетного цилиндра по отношению к оси водила, ω_1 - скорость вращения водила.

Спроецируем приложенные силы на подвижную систему координат $XYZO_2$, получим систему уравнений (рисунок 7):

$$\begin{cases} m\ddot{x} = F_{\text{отн.дв.}} - N - F_k - G \cdot \cos\beta + F_{\text{пер.дв.п}} ; \\ m\ddot{y} = F_{\text{пер.дв.т}} - F_{\text{тр.у}} \cdot \sin\gamma - G \cdot \sin\beta ; \\ m\ddot{z} = P \cdot \cos\gamma - F_{\text{тр.з}} \cdot \cos\gamma - G \cdot \cos\beta , \end{cases} \quad (15)$$

Где нормальная составляющая центробежной силы от переносного движения $F_{\text{пер.дв.п}} = m \cdot \omega_1^2 (R_2 + R_1 \cdot \cos\beta)$; (16)

касательная составляющая центробежной силы от переносного движения $F_{\text{пер.дв.т}} = m \cdot \omega_1^2 \cdot R_1 \cdot \sin\beta$; (17)

составляющая центробежной силы от относительного движения $F_{\text{отн.дв.}} = m \cdot R_2 \cdot \beta'^2$; (18)

кориолисова сила $F_k = 2m \cdot \omega_1 \cdot R_2 \cdot \beta'$; (19)

сила трения $F_{\text{тр}} = f_p \cdot N$ (20)

На частицу, движущуюся в наклонном цилиндрическом решете, будет действовать сила подпора материала, способствующая её перемещению вдоль оси решета. Силу подпора материала можно определить через импульс силы:

$$P = \frac{mV_z}{\Delta t} = V_z q e^{-\mu z}. \quad (21)$$

Произведя необходимые преобразования, получим:

$$V_z = \frac{f_p \cdot \cos \beta (m \omega_1^2 r_1 + G - \frac{G}{\cos \gamma})}{q e^{-\mu z}} + \frac{f_p \cdot m \cdot r_2}{q e^{-\mu z}} (\beta' - \omega_1)^2. \quad (22)$$

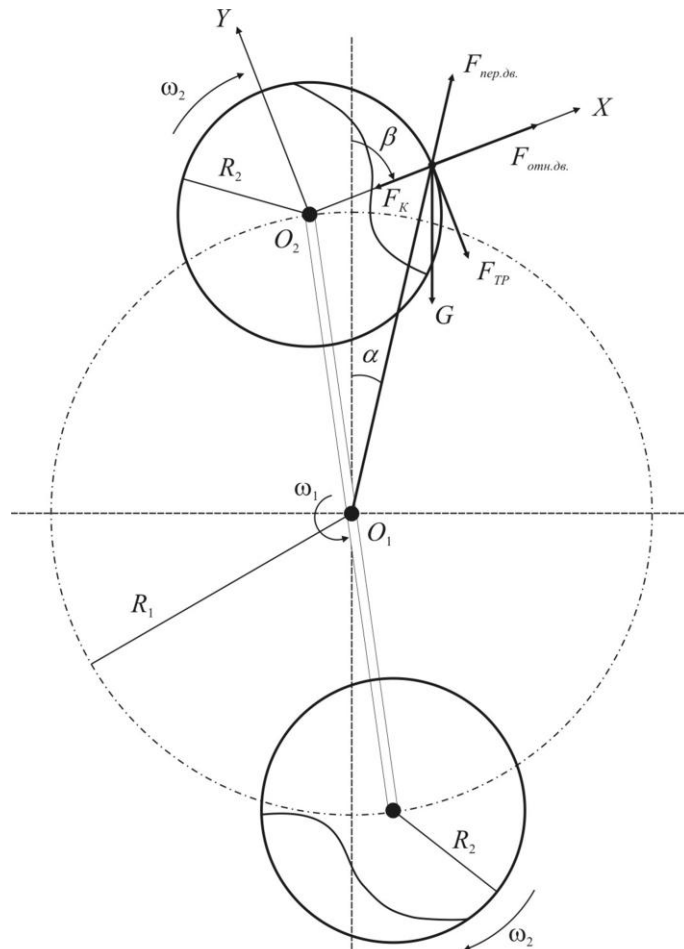


Рисунок 7 - Схема сил, действующих на частицу

Получили математическую зависимость V_z от нагрузки, угла и частоты вращения.

При увеличении нагрузки с 10 кг/дм²ч до 70 кг/дм²ч (рисунок 8) скорость осевого перемещения зерна уменьшается с 0,8 до 0,2 м/с. Угол наклона оси решета к горизонтальной оси изменялся от 1 до 5 градусов. При этом наименьшее значение достигается при угле наклона 3 градуса решета к горизонтальной оси при различных производительностях решета.

Зерновая частица, перемещаясь по поверхности решета в радиальном сечении, совершает относительное и вращательное движения и одновременно, перемещается вдоль оси образующей цилиндрического решета (поступательное движение).

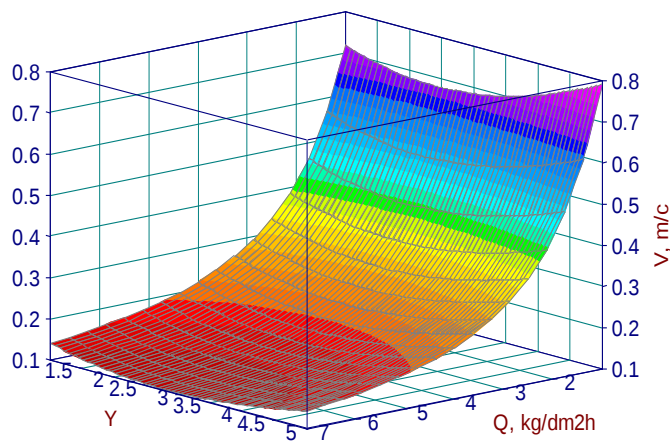


Рисунок 8 - Зависимость осевой скорости перемещения зернового материала от угла наклона решетных цилиндров и удельной производительности

В пространственной системе координат зерновая частица совершает винтовое движение.

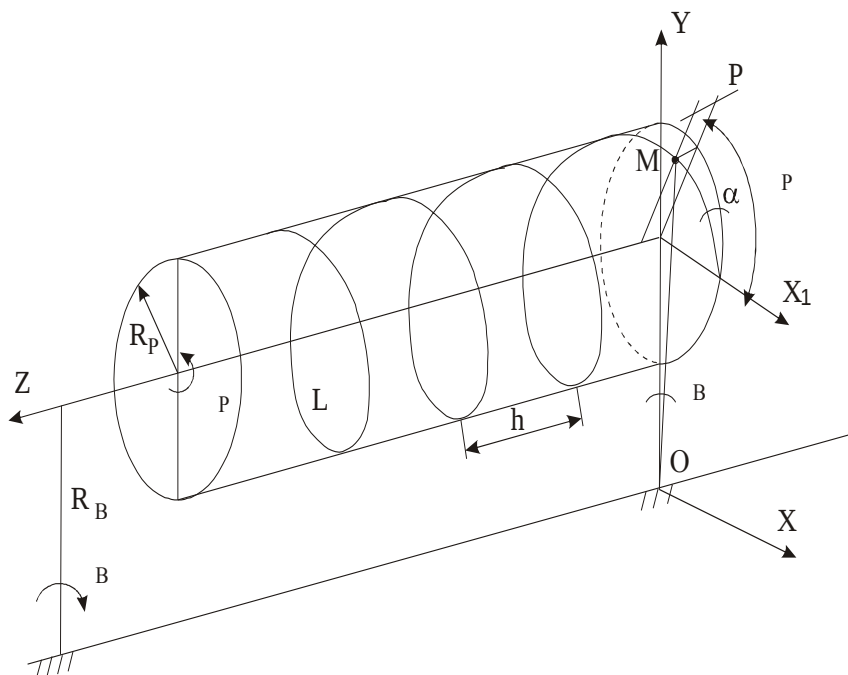


Рисунок 9 - Схема винтового движения зерновой частицы

Винтовая линия L-пространственная кривая в системе координат OXYZ. Как было сказано точка M (зерновая частица) участвует одновременно во вращательном движении по поверхности решета вокруг оси OZ и в поступательном параллельно этой оси с постоянными скоростями, то траектория ее движения является винтовой линией, уравнения которой имеют вид:

$$\begin{cases} X = R_0 \cdot \cos \varphi_0 = (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_0) \cos \varphi_0 \\ Y = R_0 \cdot \sin \varphi_0 = (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_0) \sin \varphi_0 \\ Z = P \cdot \varphi_P \end{cases} \quad (23)$$

Где :

ω_P – частота вращения решета, c^{-1} ,
 ω_B – частота вращения водила, c^{-1} ,
 R_P – радиус решета, м,
 R_B – радиус водила, м,
 $\varphi_P = \omega_P \cdot t$ – угол поворота решета,
 $\varphi_B = \omega_B \cdot t$ – угол поворота водила,
 $\varphi_0 = \varphi_P - \varphi_B$ – угол поворота системы,
 t – время, сек.

Радиус кривизны определяется из выражения:

$$\rho = \frac{1}{K} = \frac{(R_p^2 + P^2)}{R_p} \quad (24)$$

Движение зерновой массы внутри планетарного решета вдоль оси O_1Z_1 можно охарактеризовать двумя режимами:

- зерновки, лежащие на оси, движутся за счет подпора, только поступательно вдоль оси.
- все остальные зерновки, находящиеся в теле зернового сегмента, описывают винтовые линии одинакового хода h под разными углами наклона α к плоскости $O_1X_1Y_1$.

Угол наклона траектории движения частицы по решетной поверхности:

$$\alpha = \arccos \frac{R_p \omega_p}{V_z}. \quad (25)$$

При разработке математической модели движения зерна по решетке и просеивания проходových частиц через отверстия решета используем модель движения отдельной частицы сферической формы с постоянной относительной скоростью по поверхности решета.

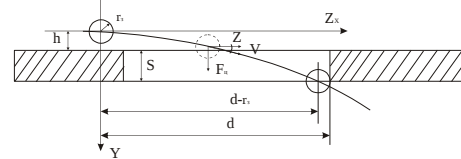
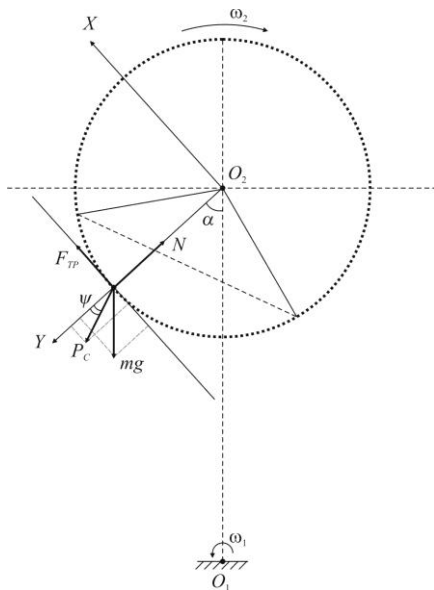


Рисунок 10 - Расчетная схема движения по решетке и прохождения сферической частицы через отверстие решета

При этом предположим, что сопротивление среды пропорционально скорости частицы, т.е. $f(V) = kV$, величина центробежной силы, действующей на частицу, является постоянной: $F_y = const$.

Дифференциальные уравнения движения зерновой частицы в пределах отверстия имеют вид:

$$\begin{cases} m\ddot{z} = -kV \cdot \cos \beta \\ m\ddot{y} = F_0 + kV \cdot \sin \beta \end{cases} \quad (26)$$

V - скорость частицы, м/с,

β - угол, образуемый скоростью V и осью OZ .

$$F_O = m(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P) - mg \cdot \cos \varphi_P$$

Скорость зерновой частицы при прохождении через отверстие решета :

$$V = \sqrt{V_{xz}^2 + V_Y^2},$$

Окончательно :

$$V = \sqrt{V_0^2 e^{-2k_0 t} + (R_P \omega_P)^2 + \frac{P^2}{k_0^2} (1 - e^{-k_0 t})^2} = \sqrt{V_0^2 e^{-2k_0 t} + (R_P \omega_P)^2 + \frac{[(\omega_P - \omega_B)^2 (R_B + R_P \cdot \cos \varphi_P) - g \cdot \cos \varphi_P]^2 (1 - e^{-k_0 t})^2}{k_0^2}} \quad (27)$$

Для определения характера ее изменения при перемещении зерновки используем уравнение окружности: $x^2 + y^2 = R^2$

σ

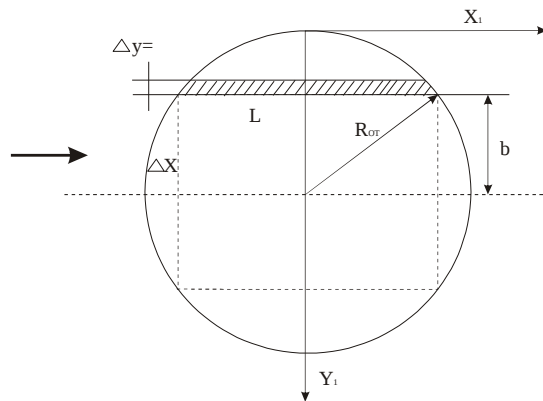


Рисунок 11- Проход в отверстие решета

Подачу зерна при сепарации зерновок сквозь одно отверстие за время t получим из выражения:

$$g_{от} = \int_{t_0}^{t_1} \left[2 \sqrt{R_Y R_0 \omega_P t - R_0^2 \frac{\omega_P^2 t^2}{4}} \cdot \left(\frac{P}{k_0} \left(\ln \frac{V_0}{V_0 - k_0 (d - r_3)} - \frac{V_{0Y} - k_0 (d - r_3)}{V_{0Y}} \right) \frac{P}{k_0^2} - S \right) \cdot \rho \cdot k_{II} \right] dt \quad (29)$$

Где S – толщина полотна решета, м; k_0 – коэффициент сопротивления среды; r_3 – радиус зерновой частицы, м; h – высота тах перемещения зерновой частицы по оси ОУ; b – ширина сечения отверстия решета, м; ρ – плотность зерна, кг/м³; k_{II} – коэффициент подачи (подпора) зерновых частиц на отверстие.

Система уравнений (9...29) описывает движение частицы зернового материала по поверхности и в отверстии решета, планетарно вращающейся вокруг горизонтальной оси с постоянной угловой скоростью ω_P . Эта система связывает конструктивные и кинематические параметры решета с физико-механическими свойствами зерна и может служить математической моделью при исследовании процесса центробежного сепарирования зерновых материалов и выборе оптимальных параметров сепараторов.

Рассмотрим силовое поле цилиндрического решета совершающего планетарное вращение. Для анализа примем силовое взаимодействие в точке М через каждые 90^0 (рисунок 12) , от начального положения M_1 , когда результирующий радиус равен сумме радиусов решета и водила. Проведем расчёт полученных выражений суммарных сил по оси Х (в отверстие)и оси У(по поверхности решета) для точек M_1, M_2, M_3, M_4 при следующих начальных значениях (рисунок 13):

$k\omega = 2$; $\psi = 30$ град.; $m=1$; $R_p=0.15$ м. ; $\omega_p = 40 \text{ с}^{-1}$; $\beta = 27$ град.; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

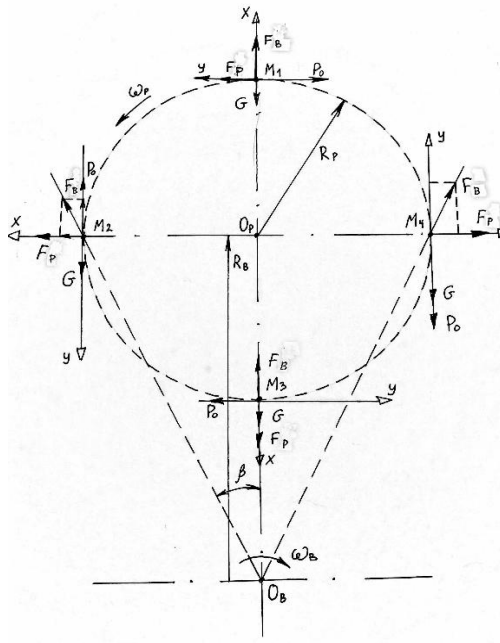


Рисунок 12 – Силовой анализ решета

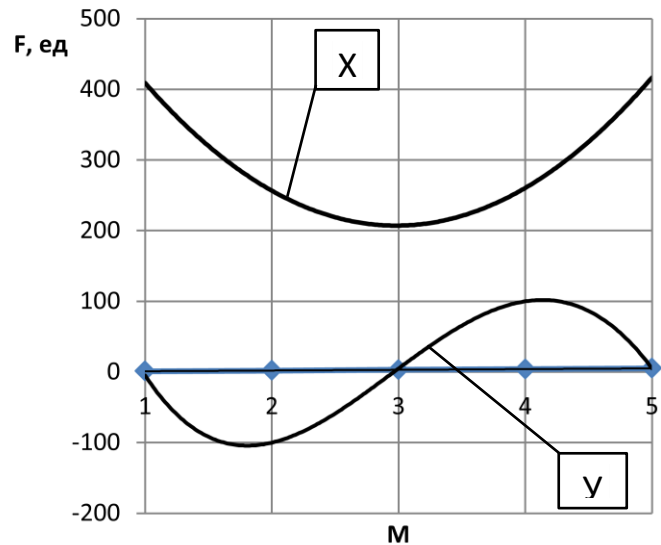


Рисунок 13 - Силовое поле поверхности решета

В третьей главе « Программа и методика экспериментальных исследований» изложены программа и частные методики лабораторных экспериментальных исследований. Программа экспериментальных исследований включала:

- опыты по обоснованию и оптимизации конструктивно – технологических параметров:

- а) влияние диаметра и длины решетного цилиндра на эффективность сепарации ;

- б) влияние подпорного кольца на процесс сепарации;

- в) влияние угла наклона цилиндра относительно оси водила на процесс сепарации;

- опыты по определению характера просеваемости с учетом потерь по длине решетного цилиндра.

- анализ микроповреждений зерна при его сепарации.

Опыты проводились на экспериментальной установке (рисунок 14). Диаметр цилиндрического решета составлял - 0,3 м, длина решета - 0,99м, соотношение радиусов водила и решета – 1.8...2.4, угол наклона решета –

0...5 град. При проведении опытов частота вращения водила регулировалась посредством преобразователя частоты переменного тока. С помощью заслонок регулировалась подача зернового вороха.

Анализ литературных источников, результаты предварительных проведенных исследований позволили выделить факторы, влияющие на процесс сепарации зерна в цилиндрическом решете с планетарным вращением:

Кинематические:

ω_1 - скорость вращения водила, рад/с.

ω_2 - скорость вращения решетного цилиндра, рад/с.

$k_\omega = \omega_2 / \omega_1$ - отношение угловых скоростей решетного цилиндра и водила

Конструктивные:

d_p - диаметр решетного цилиндра, м.

d_B - диаметр водила решетных цилиндров, м.

γ - угол наклона цилиндра по отношению к оси водила, град.

L_p - длина решетного цилиндра, м.

L_c - длина секции, м.

h - высота подпорного кольца, м.

$k_R = R_B / R_p$ - отношение радиусов водила и решета

Технологические:

Q - удельная нагрузка, кг/дм²ч.

$W_{зв}$ - влажность зернового вороха, %

C_0 - засоренность зернового вороха, %



Рисунок 14 – Общий вид решетного планетарного сепаратора



В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены основные результаты лабораторных экспериментов и дан их анализ.

При определении потерь зерна сходом с решета (принято: переход на вторую секцию) выявлено, что сход зерна в решетных цилиндрах с подпорным кольцом (рисунок 15) примерно в 3 раза меньше, чем в опытах без кольца. Например, при удельной нагрузке 25 кг/дм²ч сход зерна без

кольца составил 1,3 %, с кольцом - 0,4 %, при нагрузке 140 кг/дм²ч – соответственно 1,1 % и 0,37 %. При больших удельных нагрузках разница в сходе зерна при различных скоростных режимах становится незначительной. Сход зерна при этих нагрузках составляет около 0,4 %.

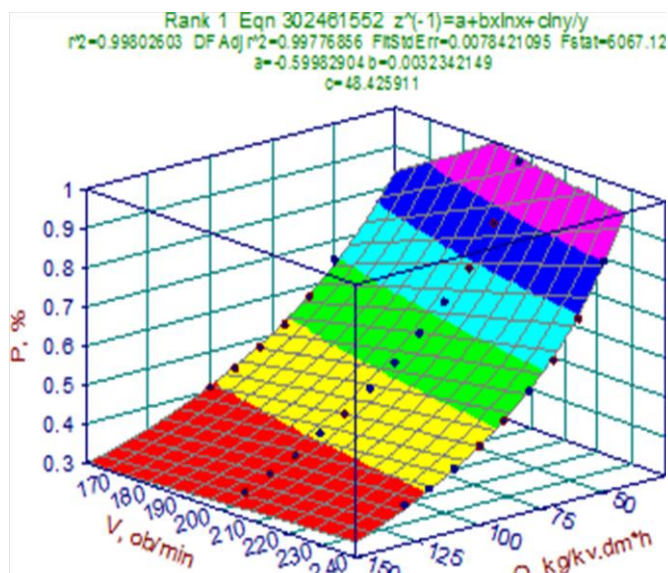


Рисунок 15 – Влияние нагрузки и скоростного режима при установленном подпорном кольце после второй секции $h=20$ мм на потери зерна

Размер отверстия решета при изменении нагрузки изменяет величину потерь зерна сходом (рисунок 16). При диаметре отверстия 7 мм. с увеличением нагрузки с 40 до 280 кг/дм²ч, потери уменьшились на 0,2%, а при диаметре 10 мм на 0,7 % и достигли величины 0,3.

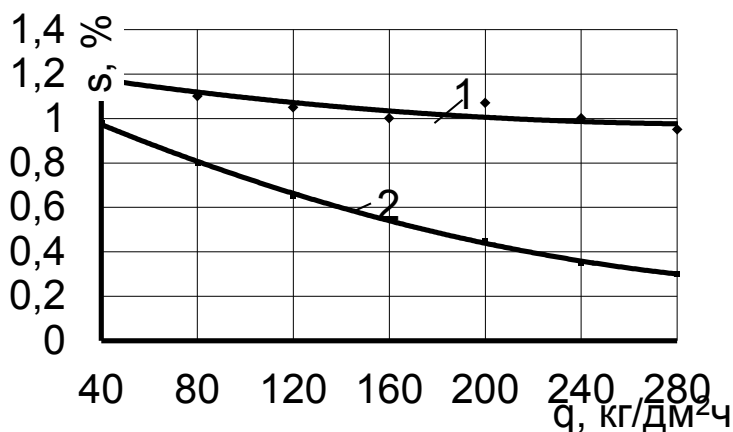


Рисунок 16 - Влияние размера отверстий на сход зерна

($n = 200$ об./мин. $W = 12,9$ %)

1 - диаметр 7 мм.

$$s = 0,0046q^2 - 0,0704q + 1,24$$

2 - диаметр 10 мм.

$$s = 0,0107q^2 - 0,1979q + 1,16$$

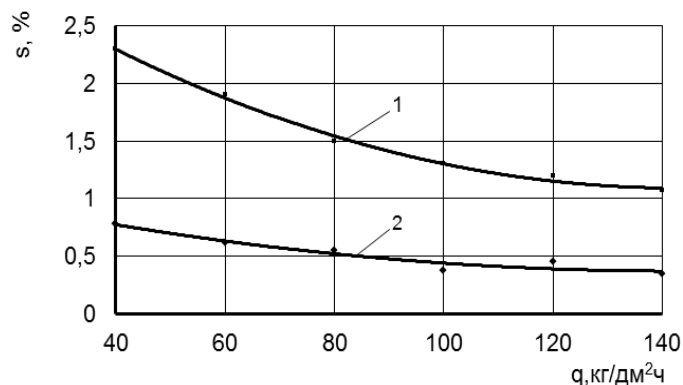


Рисунок 17 - Влияние подпорного кольца на сход зерна

($n = 160$ об./мин. $w = 12,9$ %)

1 - без подпорного кольца

$$s = 0,0571q^2 - 0,6229q + 2,88$$

2 - с подпорным кольцом

$$s = 0,0154q^2 - 0,1884q + 0,948$$

Наиболее интенсивно (до 85-90 %)сепарация происходила в первой половине секции при нагрузках, соответствующим режиму предварительной очистки зерна. (рисунок 19) Увеличение исходной засоренности мелкими примесями до 10% не изменяло характер просеваемости:

$$\text{Rank 139 Eqn 302461761 } z^{(-1)}=a+be^{(x/wx)}+cy^{(2.5)}$$

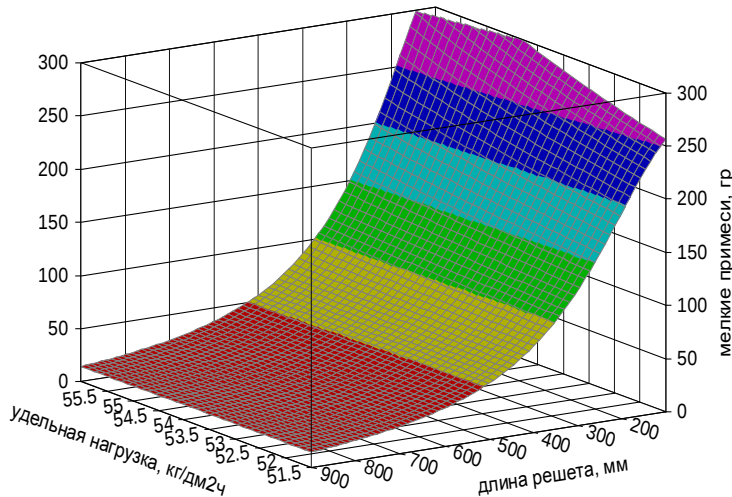


Рисунок 18 – Просеваемость мелких примесей в зависимости от длины решета и удельной нагрузки (угол наклона цилиндров 2 градуса)

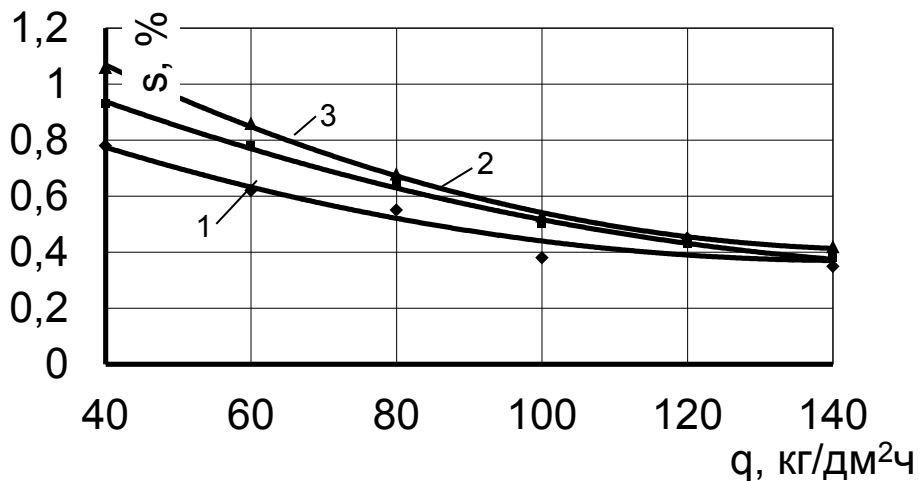


Рисунок 19 - Влияние скорости водила на сход зерна ($w = 12,9 \%$)

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| 1 - $n = 160$ об./мин. | $s = 0,015q^2 - 0,188q + 0,948$ |
| 2 - $n = 200$ об./мин. | $s = 0,013q^2 - 0,210q + 1,134$ |
| 3 - $n = 240$ об./мин. | $s = 0,022q^2 - 0,287q + 1,333$ |

для выделения 90% мелких примесей из зерна естественного гранулометрического состава требуется $\frac{3}{4}$ длины решетной поверхности, а на искусственной смеси на $\frac{1}{2}$ длины решета выделяется уже 94% мелких примесей по отношению ко всей массе выделившегося зерна.

При выделении мелких примесей на решетках с прямоугольными отверстиями 2X25 мм, при удельных нагрузках 40- 60 кг/дм²ч эффективность достигает 0.96.

Если при нагрузке 40 кг/дм²ч и

изменении оборотов решета с $n = 160$ до 240 об./мин увеличение схода составило 0,3%, то при нагрузках 120...140 кг/дм²ч величина схода с первой секции решета практически стала одинаковой для всех рабочих режимов.

При увеличении подачи эффективность снижается вследствие того, что из-за значительного поступления зернового материала на решетную поверхность снижается осевая скорость перемещения зерна и значительно увеличивается зерновой сегмент, происходит слабое послойное перемещение зерна в сегменте и как следствие незначительный контакт мелких примесей с решетной поверхностью.

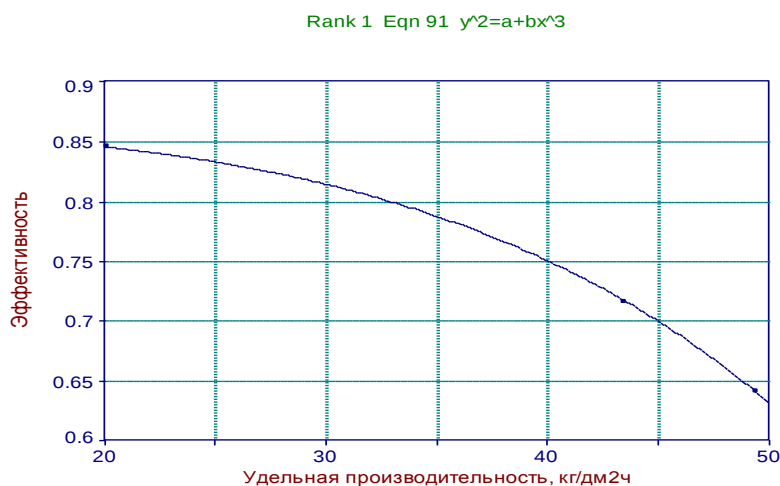


Рисунок 20 - Эффективность процесса сепарации (решета с прямоугольными отверстиями 2х25 мм, угол наклона цилиндров 2 градуса, подпорное кольцо установлено в конце цилиндра)

В пятой главе «Экономическая эффективность работы цилиндрического решета с планетарным вращением» приведены результаты производственной проверки, результаты опытов по оценке микроповреждений зерна. Определена расчетная экономическая эффективность сепаратора.

Производственная проверка была проведена на семяочистительно-сушильном комплексе ФГУП «Элитное». Производственная проверка экспериментального образца проводилась на обработке свежесобранного зерна пшеницы, поступавшего непосредственно от комбайнов. Влажность исходного зерна – 16,4%, содержание сорных и зерновых примесей – 9,2%, в том числе солоmistых примесей – 0,4%. При этом производительность экспериментального образца составила – 17 т/ч.

Анализ микроповреждений зерна показал незначительное расхождение величины поврежденных зерен до и после обработки на решетке (до 0.3%). Расчетная экономическая эффективность, определявшаяся по сравнению с базовым аналогом ОВС-25С, составила 21080 рублей на одну машину.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам анализа состояния вопроса установлено, что одним из эффективных решений интенсификации сепарации зерна является применение горизонтальных цилиндрических решет. Разработана технологическая схема цилиндрического решета с планетарным вращением, обеспечивающая интенсификацию процесса сепарации за счет воздействия

на зерно сложного инерционно-гравитационного силового поля, повышающего интенсивность перемещения зернового слоя, улучшающего перераспределение компонентов зернового вороха и его динамические характеристики.

2. Выявлены закономерности, характеризующие влияние конструктивно-технологических параметров (удельная производительность, влажность зерна, радиус решета, соотношения радиусов водила и решета, частота вращения, угол наклона решета по отношению к оси водила) на процесс сепарации зернового вороха. Обоснованы рациональные конструктивно-режимные параметры: диаметр цилиндрического решета - 0,3 м, длина решета - 0,9 м, соотношение радиусов водила и решета – 1,8...2,4, угол наклона решета – 3 град, частота вращения водила – $\omega_b = 15...25 \text{ с}^{-1}$.

3. Установлено, что первая секция в решета работает в режиме «полной нагрузки» только на малых скоростях вращения водила – $\omega_b = 10...15 \text{ с}^{-1}$. Проход зерна через первую секцию на рациональных скоростных режимах и нагрузках составил 86 ... 88 %. На решетках с прямоугольными отверстиями 2X25 мм, при выделении мелких примесей в режиме предварительной очистки, и удельных нагрузках 40- 60 кг/дм²ч эффективность достигает 0,96.

4. Количество решетных цилиндров в блоке определяется исходя из требуемой производительности блока и удельной нагрузки решетной поверхности при заданной эффективности очистки зерна. Определено, что в режиме предварительной очистки для выделения 90% мелких примесей из зернового вороха требуется длина решетной поверхности – 0,6 м., высота подпорного кольца 0,02 м.

5. Выяснено, что сход зерна в решетном цилиндре с двумя секциями (первая секция с отверстиями диаметром 7 мм, вторая секция с отверстиями диаметром 10 мм) при установке подпорного кольца высотой 0,02 мм уменьшается в 3 раза и при вращении водила - 160 об./мин и удельной нагрузке 100 кг/дм²ч составляет около 0,4 %. Для выделения крупных примесей в решетном цилиндре можно использовать одну секцию.

6. Расчетный годовой экономический эффект при обработке зернового вороха сепаратором, оснащённым цилиндрическим горизонтальным решетом с планетарным вращением, составляет 21080 руб на одну зерноочистительную машину.

РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты исследований можно использовать в учебном процессе обучения агроинженерным специальностям в учебных организациях, в конструкторских бюро при разработке технических средств для очистки зерна, непосредственно в сельскохозяйственном производстве при послеуборочной обработки зерна.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

В изданиях по перечню ВАК:

1. Федоренко, И.Я. Колебательные свойства механической системы, включающей платформу, опирающуюся на два вращающихся вальца / И.Я. Федоренко, **С.Е. Захаров** // Вестник АГАУ.—2017.-№10(156).-С.-150-156
2. Патент на изобретение № 2274500 РФ . МПК В07В 1/22, В07В 1/42/ Центробежный решетный сепаратор / В.Р. Торопов, **С.Е. Захаров**, Н.М. Иванов.-Патентообладатель ГНУ СибИМЭ СО РАСХН.-Дата подачи заявки 04.06.2004, опубл. 20.04.2006.- Бюл.№11.

Статьи и материалы научно-технических конференций.

3. **Захаров, С.Е.** Повышение качества сепарации зерна на планетарных цилиндрических решетках: материалы межрегиональной конференции молодых ученых, посвященной 50-летию освоения целинных и залежных земель- Омск, 2004.-Вып. 4. С.233
4. **Захаров, С.Е.** Определение осевой скорости перемещения зернового материала на планетарных цилиндрических решетках: материалы междунар. науч.-техн. конф./ Новосибир. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т.- Новосибирск, 2004.- С.29
5. **Захаров, С.Е.** Сепарация зерна на цилиндрических решетках с горизонтальной осью вращения, совершающих планетарное движение: материалы годич. общ. собр. и науч. сес. СО РАСХН/ РАСХН Сиб. отд-ние.- Новосибирск, 2005.-С.60
6. **Захаров, С.Е.** Обзор конструкций сепараторов с цилиндрическими решетками: Труды конф. мол. учёных СО РАСХН - Новосибирск, 2004.-С.361
7. **Захаров С.Е.** Просеиваемость зернового материала по длине цилиндрического решета: Тр. 8-й Междунар. научн.-практ. конф./РАСХН Сиб. отд-ние.-Новосибирск, 2005.-С.382
8. **Захаров, С.Е.** Результаты экспериментальных исследований просеиваемости по длине зернового материала на цилиндрических решетках с планетарным вращением: Материалы Междунар. науч.-техн. конф./Новосиб. гос. аграрн. ун-т; Инж. ин-т.- Новосибирск, 2006.-С.22
9. **Захаров, С.Е.** Движение зерновки по поверхности решета, совершающего планетарное движение: Тр. II Междунар. науч.-техн. конф. мол. ученых / РАСХН Сиб. отд-ние.- Новосибирск, 2006.-С.567

Подписано в печать 10.10.2017 г. Формат 60х84 $\frac{1}{16}$ Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать на ризографе. Печ.л.1,0. Тираж 100 экз. Заказ 109.
Отпечатано в редакционно-полиграфическом отделе
СибИМЭ СФНЦА РАН, р.п. Краснообск.