

На правах рукописи



КОВАЛЬ ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ ЗЕРНА
НА КАЧАЮЩИХСЯ РЕШЕТАХ С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНО-
СТЬЮ С ПРЯМОУГОЛЬНЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ, РАСПОЛОЖЕННЫМИ
ПОД УГЛОМ К ОБРАЗУЮЩЕЙ

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск 2010

Работа выполнена на кафедре «Тракторов и автомобилей, сельскохозяйственных машин и механизации животноводства, ремонта машин» Тарского филиала Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Омский государственный аграрный университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Черняков Алексей Витальевич
(ТФ ФГОУ ВПО ОмГАУ)

Официальные оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук,
член-корреспондент Россельхозакадемии
Домрачев Виктор Адрианович
(ГНУ СибНИИСХ Россельхозакадемии)

кандидат технических наук
Торопов Виктор Романович
(ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии)

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Защита состоится «22» апреля 2010 года в 10 часов на заседании диссертационного совета ДМ 006.059.01 при Государственном научном учреждении Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук по адресу: 630501, Новосибирская область, Новосибирский район, п. Краснообск – 1, ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета по адресу: 630501, Новосибирская область, Новосибирский район, п. Краснообск - 1 , а/я 460, ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии; телефон, факс (383) 348-12-09.

e-mail: sibime@ngs.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ СибИМЭ и на сайте www.sibime.sorashn.ru

Автореферат разослан « 17» марта 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук



В.С. Нестяк

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Для интенсивного и стабильного развития производства зерна и повышения его качества важное значение имеет совершенствование технологии и техники послеуборочной обработки и хранения. Очистка и подработка зерна являются одними из самых трудоемких операций. Обработка осуществляется поточными зерноочистительными линиями, производительность которых сдерживается пропускной способностью решетных машин первичной и вторичной очисток.

Авторы многих работ приходят к выводу, что наиболее производительными являются центробежные цилиндрические решета, а качающиеся решета менее других травмируют зерновки. Наиболее нагруженными решетками в семяочистительных машинах считаются подсевное и сортировальное, на которых отделяются мелкие и щуплые примеси. Увеличить производительность этих, как и других решет, можно двумя путями. Первый путь – экстенсивный, связан с увеличением габаритных размеров решет, увеличением мощности на их привод и другими путями. Второй путь – интенсивный, предусматривает разработку новой конструкции сепаратора, проведение НИР с целью расширения конструктивных возможностей за счет мобилизации решающих факторов, влияющих на количественные и качественные показатели работы машины или рабочего органа. Реализация второго пути сдерживается ввиду недостаточной изученности процесса сепарации зерна на решетках.

На протяжении десятков лет учеными многих стран выдвигаются различные способы очистки зерна от примесей. В настоящее время предлагаются принципиально новые сепараторы, лишенные недостатков старых и совершенствуются технологии очистки зерна.

В ОмГАУ проводились исследования по изучению процесса сепарации зерна на качающихся решетках, имеющих цилиндрическую поверхность, которые объединяют преимущества как плоских, так и цилиндрических решет.

Одним из перспективных решений, позволяющих интенсифицировать процесс сепарации на качающихся решетках, является размещение прямоугольных отверстий, расположенных под углом к образующей.

Цель исследования – интенсификация процесса сепарации зерна на качающихся решетках с цилиндрической поверхностью за счет исполнения прямоугольных отверстий решета под углом к образующей.

Объект исследования - процесс сепарации зерна на качающихся решетках с цилиндрической поверхностью с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к образующей.

Предмет исследования - закономерности количественных и качественных показателей процесса сепарации зерна на качающихся решетках с цилиндрической поверхностью с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к образующей

Научная новизна:

- разработана модель сепарации зерна на качающихся решетках с цилиндрической поверхностью с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к образующей, выполненная с использованием аппарата случайных чисел;

- получены закономерности процесса сепарации зерна на качающихся решетках с цилиндрической поверхностью с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к образующей.

- получены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния угла наклона прямоугольного отверстия к образующей решета с цилиндрической поверхностью на качественные и количественные показатели процесса разделения зерновой смеси.

Методы исследования. При исследованиях применялись основные положения теоретической и технической механики. При экспериментальных исследованиях применялись методы планирования эксперимента и регрессионного анализа. При обработке результатов исследования – методы математической статистики, теории вероятности, линейного программирования.

При теоретических исследованиях и обработке результатов экспериментов вычисления производились на ПЭВМ с использованием программ MathCAD, MSEXCEL, Visual Basic.

Практическая значимость.

На основе выполненных исследований определены рациональные параметры и режимы работы установки для очистки зерна на качающихся решетках с цилиндрической поверхностью с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к образующей. Обоснованы конструктивные и кинематические параметры установки для очистки зерна.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы проектно-конструкторскими организациями для разработки новых сепараторов зернового вороха, а также в учебном процессе. Техническая новизна предложенного технического решения подтверждена двумя патентами РФ.

Апробация работы. Основное содержание отдельных вопросов диссертационной работы докладывалось на одиннадцатой и двенадцатой научных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов ОмГАУ в 2007-09 гг.; на Международном научно-техническом форуме (г. Омск, март 2009); региональной научно-практической конференции, посвящённой 90-летию ОмГАУ(г.Омск, март 2008).

Внедрение. Производственная проверка лабораторно-производственной установки была проведена в СПК «Чекрушанский» Тарского района Омской области. Полученные результаты исследования используются в учебном процессе на кафедре «Тракторов и автомобилей, сельскохозяйственных машин и механизации животноводства, ремонта машин» Тарского филиала Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Омский государственный аграрный университет».

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 6 научных статей, в том числе две статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК, получено два патента на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, библиографического списка и приложений. Работа содержит 181 страниц машинописного текста, 15 таблиц, 33 рисунка, в том числе 13 приложений

на 45 страницах. Библиографический список включает 133 наименования, в том числе 5 зарубежных источников.

Содержание работы

Во введении раскрыта актуальность темы исследования, сформулирована цель работы и кратко изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» дан анализ путей интенсификации технологического процесса сепарации зерна на зерноочистительных машинах и решетках. Проанализированы работы, посвященные исследованию параметров относительного движения зерна по решетку. Проведен обзор исследований влияния конструкций решет на процесс сепарации. Научные основы создания более совершенных рабочих органов зерноочистительных машин нашли отражение в трудах Н.Е. Авдеева, Ю.В. Чернухина, Р.А. Зверкова, Ю.А. Чурсинова, А.С. Князева, Ф.А. Мамедова, В.В. Льготчикова, С.А. Овинова, Н.М. Иванова, В.Р. Торопова, С.Е. Захарова, В.М. Ларионова, В.Г. Романенко В.Л. Злочевского, С.В. Тарасевич и многих других.

Установлено, что на эффективность работы зерноочистительных решет влияет совокупность конструктивных параметров и кинематических режимов движения зерна. Вопросами повышения эффективности сепарации зерна на решетках в результате варьирования целого комплекса кинематических параметров, рассматривали В.Н. Минаев, Б.В. Жиганков, А.В. Черняков, М.Н. Летошнев, В.Ф. Евтягин, Л.Н. Бурков, А.В. Зильбернагель, и другие. Усовершенствованию конструкций самих решет посвящены работы П.Н. Лапшина, Н.П. Лапшина, В.А. Кубышева, М.А. Тулькибаева, Н.И. Стрикунова, Ю.В. Терентьева, А.И. Климка, П.А.Емельянова, И.П. Лапшина.

На основе анализа материалов научных источников сформулирована рабочая гипотеза: *интенсификация процесса сепарации может быть достигнута путем повышения ориентирующей способности качающихся решет с цилиндрической поверхностью, за счет размещения прямоугольных отверстий под углом к образующей.*

В результате анализа литературных источников сформулированы задачи исследования:

1. Установить зависимость полноты разделения от угла наклона отверстий.
2. Обосновать параметры и режимы работы качающихся решет цилиндрической поверхности с прямоугольными отверстиями расположенными под углом к образующей.
3. Определить качественные и количественные показатели сепаратора.
4. Оценить экономическую эффективность результатов исследований.

Во второй главе «Теоретические исследования процесса сепарации зерна на решетках с прямоугольными отверстиями расположенными под углом к продольной оси решета» проводились теоретические исследования применительно к решетной установке (рис. 1).

Задача теоретического исследования заключается в определении рациональных режимов работы предложенного сепаратора, и его конструктивных раз-

меров, а также зависимости влияния угла наклона прямоугольных отверстий на полноту разделения.

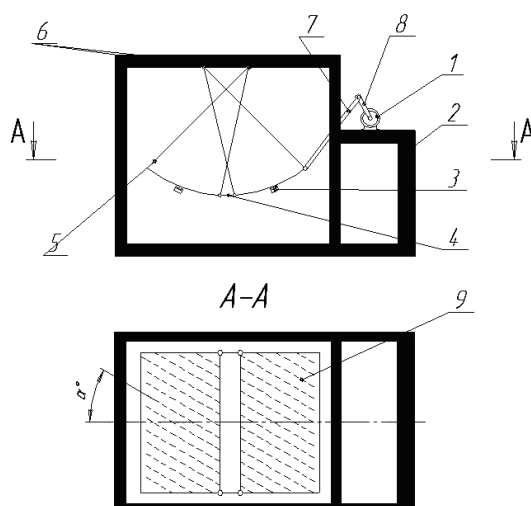


Рисунок 1 – Сепаратор с качающимися решетками, имеющими цилиндрическую поверхность с прямоугольными отверстиями, расположенными под углом к образующей: 1 – электродвигатель-редуктор, 2 – рама, 3 – щетки, 4 – перемычки, 5 – подвески решета, 6 – крепления подвесок решета, 7 – шатун, 8 – кривошип, 9- решето α – угол наклона отверстий относительно образующей решета.

Для упрощения анализа предложенного механизма (рис.1) схема зерноочи- стительного механизма была расчленена на две более простые части: кривошип- но-шатунный механизм с коромыслами и шарнирный четырехзвенный меха- низм. Шарнирный четырехзвенный механизм расчленялся, в свою очередь, на звенья (решета) (рис. 2).

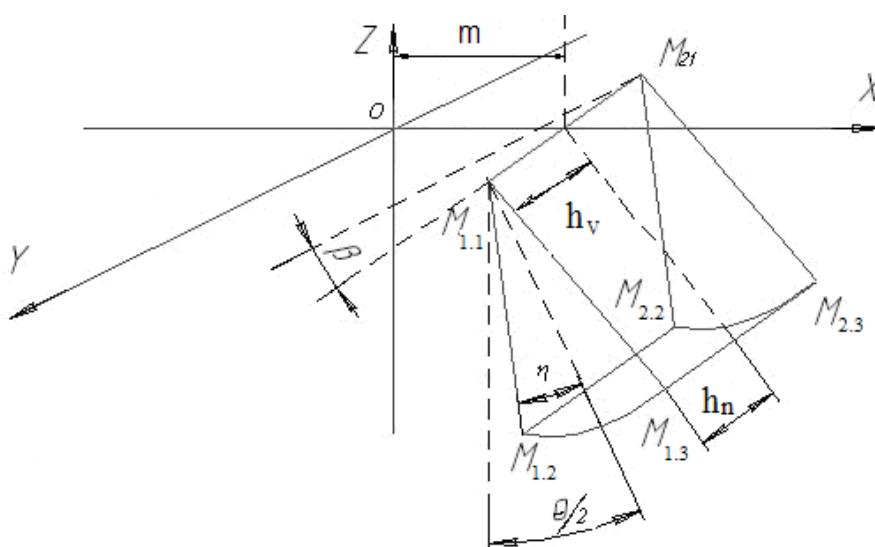


Рисунок 2 – Расчетная схема работы одного решета.

Расположение решета в пространстве было рассчитано по следующему принципу:

- задается угол наклона решета к горизонтальной поверхности β ;

- задается угол между соединительными тягами (линии $M_{11}M_{12}$, $M_{11}M_{13}$, $M_{21}M_{22}$, $M_{21}M_{23}$) от оси симметрии (η), а относительно оси симметрии соответственно ($\pm \frac{\eta}{2}$);

- задается угол размаха решетного стана (θ), тогда отклонения оси симметрии решета (при отклонениях от вертикального положения) от оси вертикального положения ($\frac{\theta}{2}$);

- определяются углы отклонения соединительных тяг (линии $M_{11}M_{12}$, $M_{11}M_{13}$, $M_{21}M_{22}$, $M_{21}M_{23}$) от вертикали:

-угол для левых тяг:

$$l = \frac{\theta - \eta}{2}, \quad (1)$$

-угол для правых тяг:

$$p = \frac{\theta + \eta}{2}, \quad (2)$$

- определяется уточненный радиус r_1 для случая разных размеров плеч (верхнего - h_v и нижнего - h_n):

$$r_1 = \sqrt{r^2 - (h_v - h_n)^2}, \quad (3)$$

далее находится угол отклонения тяг от вертикального положения при нулевом отклонении (β);

$$f_i = \frac{h_n - h_v}{r_1}, \quad (4)$$

- вычисляются координаты точек M_{11} , M_{12} , M_{13} , M_{21} , M_{22} , M_{23} .

Получаем следующие схемы расчетов координат точек M_{11} , M_{12} , M_{13} , M_{21} , M_{22} , M_{23} .

Для точки M_{11} :

$$\begin{cases} x_{11} = m; \\ y_{11} = h_v \cdot \cos(\beta); \\ z_{11} = -h_v \cdot \sin(\beta); \end{cases} \quad (5)$$

Расчет координат точек M_{12} , M_{13} осуществляется исходя из расчетных значений координат точки M_{11} .

$$\begin{cases} x_{12} = x_{11} - r \cdot \cos(\beta - f_i) \cdot \sin(l); \\ y_{12} = y_{11} - r \cdot \sin(\beta - f_i); \\ z_{12} = z_{11} - r \cdot \cos(\beta - f_i) \cdot \cos(l); \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} x_{13} = x_{11} - r \cdot \cos(\beta - f_i) \cdot \sin(p); \\ y_{13} = y_{11} - r \cdot \sin(\beta - f_i); \\ z_{13} = z_{11} - r \cdot \cos(\beta - f_i) \cdot \cos(p); \end{cases} \quad (7)$$

Аналогично получают координаты точек M_{21} , M_{22} , M_{23} .

Таким образом, нами получены системы уравнений движения одного решета. Зададим значения β (угол наклона решета), расположение подвесок решетного стана (+m для правого решета и -m для левого решета), значения угла

отклонения решет относительно осей симметрии $+\frac{\pi}{k}$ для правого решета и $-\frac{\pi}{k}$ для левого решета, где k - коэффициент отклонения, можно получать различные схемы взаимодействия решет (в частности, варьировать величиной длины переемычки). Опираясь на данную математическую модель, создана компьютерная имитационная модель. В ней учтена возможность варьировать такими конструктивными параметрами как параметры решета, длины подвесов и угол размаха решет.

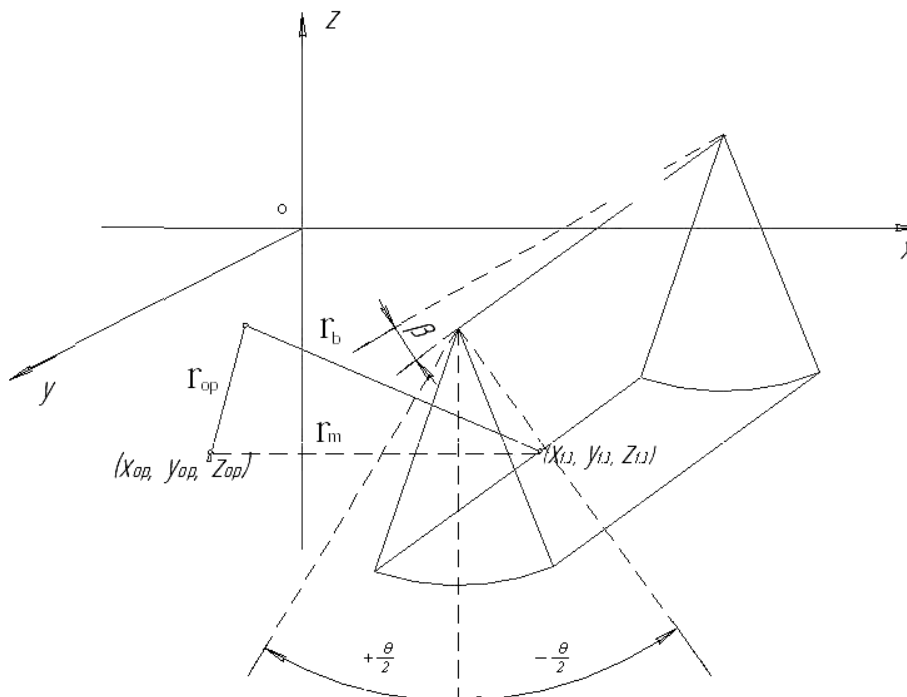


Рисунок 3 – Расчетная схема работы привода решета.

Длины шатуна и кривошипа, подвесок решета и переемычек определяются математической моделью, реализованной в программе компьютерной имитационной модели.

Для этого в начале вычислялись координаты точки крепления шатуна к решету при максимальном и минимальном отклонениях решета $(x_{max}, y_{max}, z_{max})$, $(x_{min}, y_{min}, z_{min})$.

$$\begin{cases} x_{max} = m - r \cdot \cos(\beta - f_i) \cdot \sin(-\frac{\theta}{2} + \frac{\eta}{2} + \frac{\pi}{k}) \\ y_{max} = h_v \cdot \cos(\beta) - r \cdot \sin(\beta - f_i) \\ z_{max} = -h_v \cdot \sin(\beta) - r \cdot \cos(\beta - f_i) \cdot \cos(-\frac{\theta}{2} + \frac{\eta}{2} + \frac{\pi}{k}) \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} x_{min} = m - r \cdot \cos(\beta - f_i) \cdot \sin(\frac{\theta}{2} + \frac{\eta}{2} + \frac{\pi}{k}) \\ y_{min} = h_v \cdot \cos(\beta) - r \cdot \sin(\beta - f_i) \\ z_{min} = -h_v \cdot \sin(\beta) - r \cdot \cos(\beta - f_i) \cdot \cos(\frac{\theta}{2} + \frac{\eta}{2} + \frac{\pi}{k}) \end{cases} \quad (9)$$

Определялись минимальные и максимальные удаления точки крепления шатуна к решету относительно оси вращения кривошипа.

$$\left\{ \begin{array}{l} r_{\min} = \sqrt{(x_{\min} - x_{op})^2 + (y_{\min} - y_{op})^2 + (z_{\min} - z_{op})^2} \\ r_{\max} = \sqrt{(x_{\max} - x_{op})^2 + (y_{\max} - y_{op})^2 + (z_{\max} - z_{op})^2} \end{array} \right. \quad (10)$$

Далее, вычислялась длина кривошипа:

$$r_{op} = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{2} \quad (11)$$

Длина шатуна:

$$r_b = r_{\min} + r_{op} \quad (12)$$

Расстояние от точки опоры кривошипа до точки крепления шатуна к решетке:

$$r_m = \sqrt{(x_{13} - x_{op})^2 + (y_{13} - y_{op})^2 + (z_{13} - z_{op})^2} \quad (13)$$

Приведенные зависимости (8-13) являются имитационной моделью кинематики решет сепаратора и позволяют рассчитать его конструктивные параметры: длины шатуна (380 мм), кривошипа (150 мм), а также длин подвесок решетки (350 мм) и перемычек (30 мм).

Рассмотрим элементарный участок решетки с наклонно расположенным отверстием

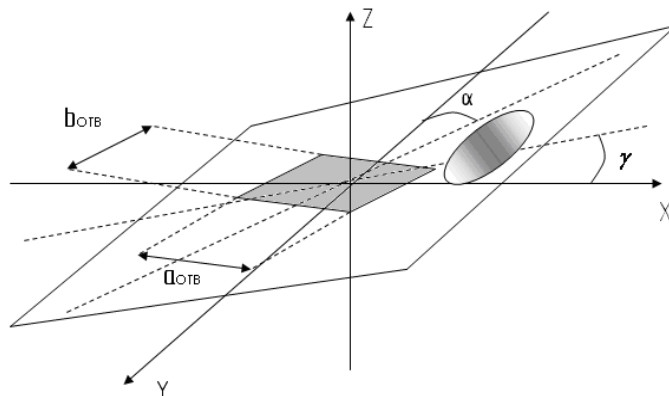


Рисунок 4 – Расчетная схема движения зерна по решетке.

Установочные параметры решетки: γ – угол наклона плоскости решетки к горизонтали, α – угол поворота отверстия относительно направления движения.

Размеры отверстия решетки: длина - $a_{отв}$, ширина - $b_{отв}$.

Рассчитаем длину диагонали прямоугольного отверстия

$$r_{омс} = \sqrt{a_{омс}^2 + b_{омс}^2}, \quad (14)$$

Тогда угол между диагональю и стороной прямоугольника (соответствует длине) будет рассчитываться:

$$u_{омс} = \arctg \frac{b_{омс}}{a_{омс}}, \quad (15)$$

При изменениях углов рассчитаем расположение четырех вершин прямоугольника в пространстве. Получим четыре системы

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = r_{отв} \cdot \cos \cdot (u_{отв} + \alpha) \cdot \cos(\gamma): \\ y_1 = r_{отв} \cdot \sin \cdot (u_{отв} + \alpha): \\ z_1 = r_{отв} \cdot \cos \cdot (u_{отв} + \alpha) \cdot \sin(\gamma): \end{array} \right. \quad (16)$$

$$\begin{cases} x_4 = r_{\text{отв}} \cdot \cos \cdot (-u_{\text{отв}} + \alpha) \cdot \cos(\gamma): \\ y_4 = r_{\text{отв}} \cdot \sin \cdot (-u_{\text{отв}} + \alpha): \\ z_4 = r_{\text{отв}} \cdot \cos \cdot (-u_{\text{отв}} + \alpha) \cdot \sin(\gamma): \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} x_2 = r_{\text{отв}} \cdot \cos(\pi - u_{\text{отв}} + \alpha) \cdot \cos(\gamma): \\ y_2 = r_{\text{отв}} \cdot \sin(\pi - u_{\text{отв}} + \alpha): \\ z_2 = r_{\text{отв}} \cdot \cos(\pi - u_{\text{отв}} + \alpha) \cdot \sin(\gamma) \end{cases} \quad (18)$$

$$\begin{cases} x_3 = r_{\text{отв}} \cdot \cos(\pi + u_{\text{отв}} + \alpha) \cdot \cos(\gamma): \\ y_3 = r_{\text{отв}} \cdot \sin(\pi + u_{\text{отв}} + \alpha): \\ z_3 = r_{\text{отв}} \cdot \cos(\pi + u_{\text{отв}} + \alpha) \cdot \sin(\gamma) \end{cases} \quad (19)$$

Данные уравнения позволяют определить координаты отверстия в пространстве при движении решета. Зная координаты отверстия, вероятность прохода частицы через отверстия решета будет равна:

$$P = P_{\alpha} \cdot P_{\beta} \cdot P_{\nu}, \quad (20)$$

где P – вероятность прохода частицы через отверстие решета;

P_{α} – вероятность «проходowego» расположения частицы на отверстии за счет угла разворота отверстия относительно вектора возвратно-поступательного движения решета;

P_{β} – вероятность «проходowego» расположения частицы на отверстии, обусловленная наклоном решета относительно горизонта;

P_{ν} – вероятность «проходowego» расположения частицы на отверстии.

Возможны три случая вероятностного прохождения зерна сквозь отверстие, расположенного под углом. Рис. 5

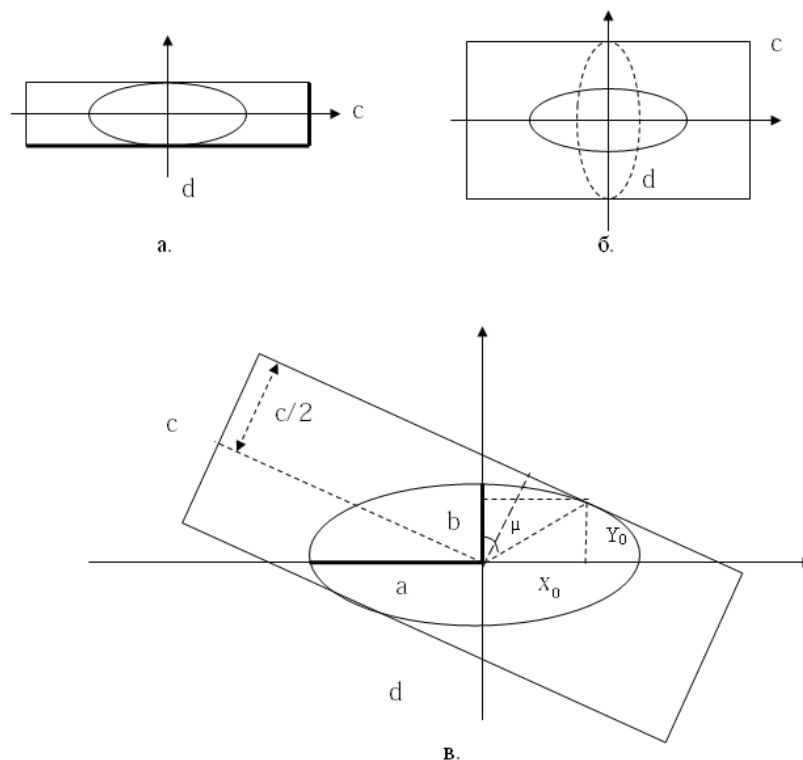


Рисунок 5– Варианты различного положения зерновки в отверстии.

Вероятность прохождения частицы в отверстие будет равна:

$$P_v = \frac{2\mu}{\pi}, \quad (21)$$

где

$$\mu = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{y_0}{x_0}, \quad (22)$$

$$x_0 = \frac{a^2}{c} \sqrt{\frac{c^2 - 4b^2}{a^2 - b^2}}, \quad (23)$$

$$y_0 = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x_0^2}. \quad (24)$$

x_0, y_0 – координаты точки соприкосновения зерновки с кромкой отверстия решета

a, b – большая и малая полуось зерновки соответственно.

Вероятность прохода за счет поворота отверстия P_α будет определяться:

$$P_\alpha = \frac{\frac{\pi}{2} - \alpha - \mu}{\frac{\pi}{2} - \mu} \quad (25)$$

Вероятность прохода в зависимости от угла наклона решета P_β будет равна:

$$P_\beta = \frac{\frac{\pi}{2} - \alpha - \mu}{\frac{\pi}{2} - \alpha} \cdot \frac{\beta}{\beta_{MAX}} \quad (26)$$

где β_{MAX} – максимальный угол наклона принятый 20° .

По формулам (20...26) была рассчитана вероятность прохода частицы через отверстие.

По расчетной схеме и посредством применения формул (1...26) составлена имитационная модель в программе Visual Basic 6.0, в которой на основе вероятностного подхода рассчитывается полнота разделения.

Теоретические зависимости полноты разделения от угла наклона отверстий построенные на основе виртуального эксперимента, в котором есть возможность изменять размеры отверстия, угол наклона отверстия а также размеры зерновки, приведены на рисунке 6.

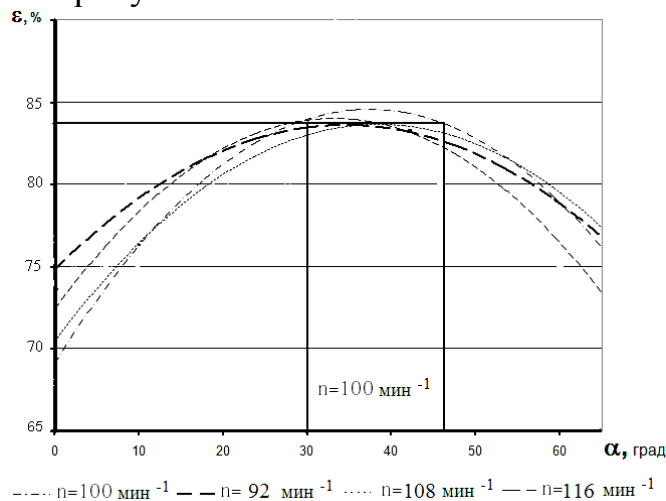


Рисунок 6 – Зависимости полноты разделения зерновой смеси от угла наклона отверстий решета для фиксированных частот колебаний решета.

Из рисунка видно, что характер графиков не меняется в зависимости от частоты колебаний, а рациональные режимы работы сепаратора находятся при величинах угла наклона отверстий, равных $30...47^\circ$.

Работа качающегося механизма характерна ударными нагрузками, что отрицательно сказывается на процессе сепарации и надежности конструкции. С целью нейтрализации отрицательного явления колебаний значительных по величине масс проведено исследование по уравниванию механизма. Расчетная схема уравновешенного механизма привода приведена на рис. 7. Для исключения нежелательных нагрузок было проведено уравнивание шестизвенного механизма за счет установки на его звеньях дополнительных масс (противовесов). Таким образом, для уравнивания сил инерции механизма сепаратора зерна необходимо установить на звеньях 1, 2, 3 дополнительные массы $m'_{ур} = 3,8\text{кг}$, $m''_{ур} = 6,8\text{кг}$, $m'''_{ур} = 6,3\text{кг}$, на расстояниях от центров вращения O_1, O_4, O_6 : $r'_{ур} = 0,1\text{м}$, $r''_{ур} = r'''_{ур} = 0,2\text{м}$.

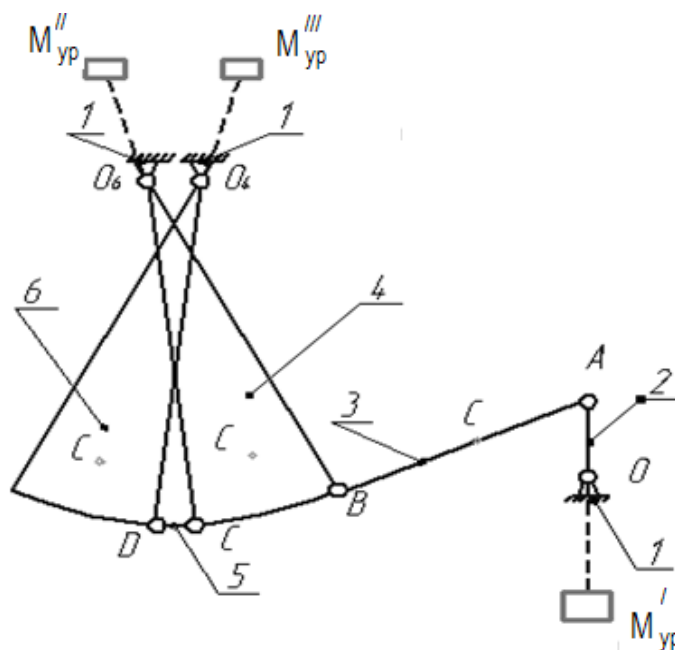


Рисунок 7 – Структурная схема уравнивания масс механизма сепаратора зерна, методом статического уравнивания.

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований» рассмотрен состав зерновой смеси, методики оценки качества процесса сепарации и определения производительности сепаратора. Выбрана методика экспериментальных исследований, включающая в себя определение размеров решет сепаратора, отсеивающий эксперимент, метод крутого восхождения, многофакторный эксперимент, а также экспериментальные исследования на нескольких культурах.

Предложена и рассмотрена конструкция экспериментальной установки, схема которой представлена на рисунке 8.

Экспериментальные исследования проводились на пшенице сорта «Светланка» засоренностью 10% и влажностью 14%.

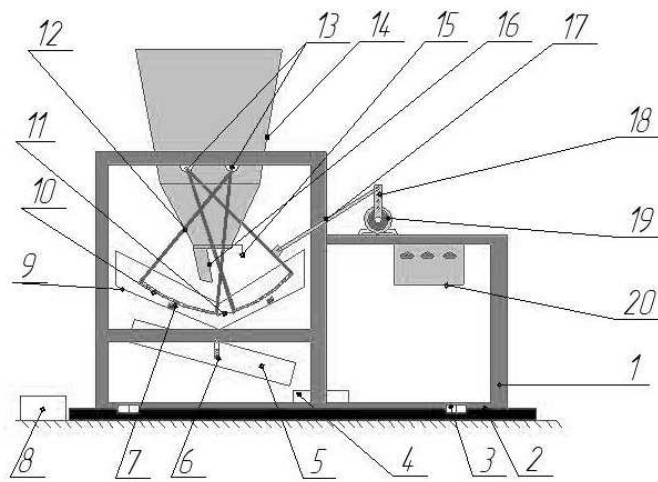


Рисунок 8. – Схема лабораторно-экспериментальной установки:

1 – рама основная; 2 – опорная рама; 3 – поворотные шарниры; 4 – емкость для сбора зерна за время вспомогательных операций; 5 – скатная доска для подачи сходовой и проходовой фракций в соответствующие емкости; 6 – переводной рычаг скатной доски; 7 – щетки; 8 – емкости для сбора сходовой и проходовой фракций за время опыта; 9 – поддон; 10 – решетка; 11 – перемычки; 12 – подвески решет; 13 – крепления стана; 14 – бункер; 15 – дозатор щелевого типа; 16 – лоток; 17 – шатун; 18 – кривошип; 19 – мотор-редуктор 20 – пульт управления.

Величина надежности полученных результатов принята равной 0,95. Ошибка полученных результатов находилась в пределах $2S$ (S -величина среднеквадратического отклонения). Число повторностей каждого опыта принято равным 4. Для реализации отсеивающего эксперимента выбран план Плакетта-Бермана с пятью факторами. Для получения уравнения регрессии выбран ортогональный план второго порядка. В качестве критерия оптимизации работы сепаратора принята полнота разделения ε .

В четвертой главе «Экспериментальные исследования» приведены результаты экспериментов, проведенных в лабораторных условиях.

Наклонные продолговатые отверстия на решетках установки устанавливались в трех различных вариантах (рис. 9): а) расположение «елочкой», б) расположение «обратной елочкой», в) одинаковое расположение отверстий на обеих решетках.

Для определения рациональной комбинации расположения отверстий был проведен однофакторный эксперимент, с изменением положения отверстий.

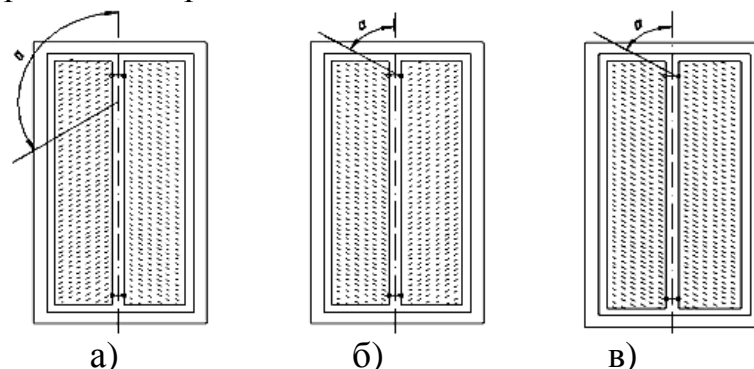


Рисунок 9 – Варианты расположения прямоугольных отверстий на решетках

Зависимость полноты разделения от варианта расположения отверстий на решетках приведена на рисунке 10

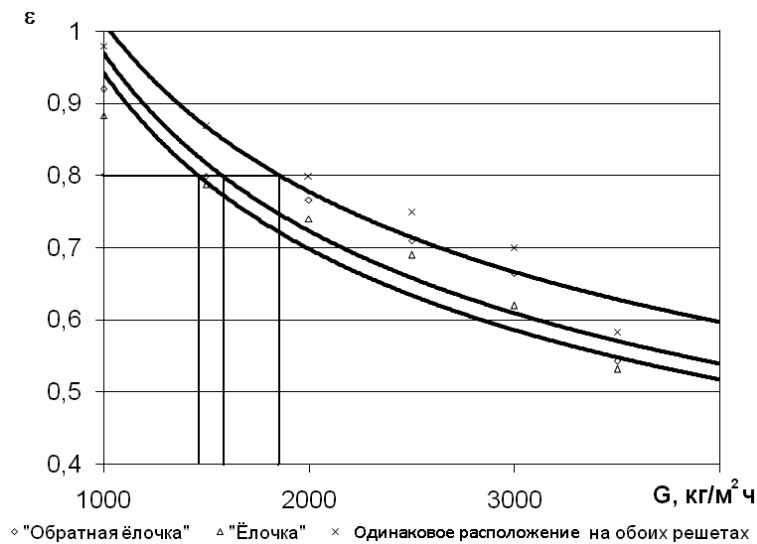


Рисунок 10 – Зависимость полноты разделения от варианта расположения отверстий на решетках.

При совместном рассмотрении приведенных графиков (рис. 10) можно сделать вывод, что различное расположение отверстий на решетках не изменяют характер закономерности полноты разделения. При одинаковом расположении отверстий на обоих решетках полнота разделения выше по сравнению с другими вариантами. Дальнейшие эксперименты проводились на этом варианте расположения отверстий решет.

Размах колебаний решета и его ширина в рассматриваемой установке являются взаимозависимыми, поскольку в противном случае щетки будут неэффективно очищать полотно от застрявших частиц. Для лабораторной установки нами приняты величины ширины решета $b=250\text{мм}$, размаха решет $A=60^\circ$.

Одним из конструктивных параметров сепаратора является длина рабочей части решет. Для его обоснования проводился эксперимент с решетками переменной рабочей длиной для различных подач зернового вороха. Результаты приведены на рис. 11.

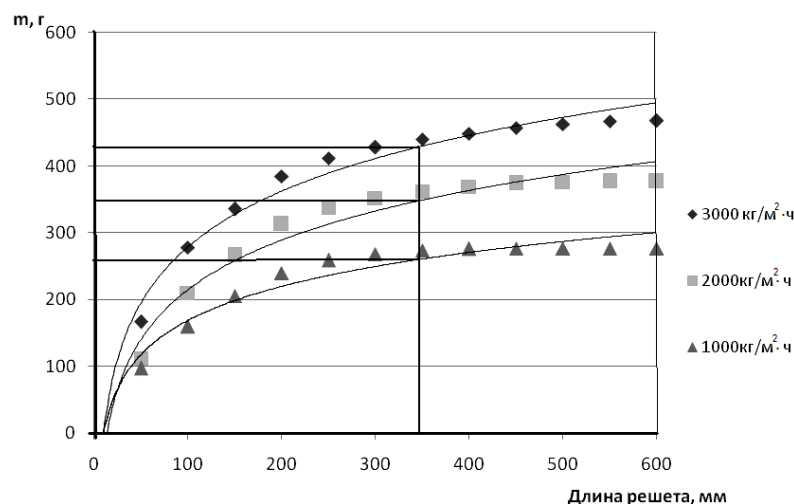


Рисунок 11 – Зависимость массы проходовой фракции от длины решета.

Поскольку наибольшая интенсивность просеивания мелкой фракции наблюдается на первых участках качающихся решет, для дальнейших опытов было принято использовать длину, равную 350 мм.

По результатам отсеивающего эксперимента выявлены факторы, влияющие на полноту разделения зернового вороха: удельная нагрузка на решето G ,

угол наклона длинных кромок прямоугольных отверстий решета к продольной оси решета α и частота вращения кривошипа n .

В результате применения метода крутого восхождения получена почти стационарная область критерия оптимизации со значениями факторов: $G = 2500 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, $n = 100 \text{ мин}^{-1}$, $\alpha = 45^\circ$, которая является основой для последующего проведения планируемого многофакторного эксперимента.

На основании результатов планируемого многофакторного эксперимента получена математическая модель процесса сепарации зернового вороха. После перевода коэффициентов из кодированных значений в натуральные, уравнение регрессии примет вид:

$$\varepsilon = 0,459 - 0,00318 \cdot G + 0,01895 \cdot \alpha + 0,01288 \cdot n + 0,0000001297 \cdot G \cdot n + 0,00000371 \cdot \alpha \cdot n + 0,0000004136 \cdot G^2 - 0,0000243 \alpha^2 - 0,00006605 \cdot n^2. \quad (27)$$

Расчетным путем получены поверхности отклика, характеризующие зависимость полноты разделения от переменных параметров сепаратора.

На рисунках 12, 13, 14 представлены зависимости полноты разделения от факторов.

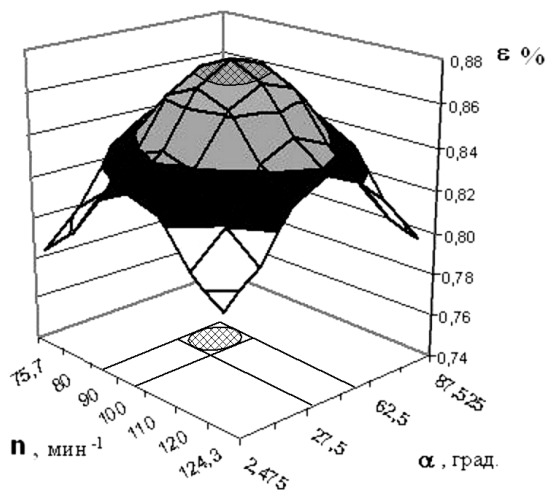


Рисунок 12 – Зависимость полноты разделения от угла наклона отверстий α и частоты вращения приводного вала n ; $G = 2000 \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$.

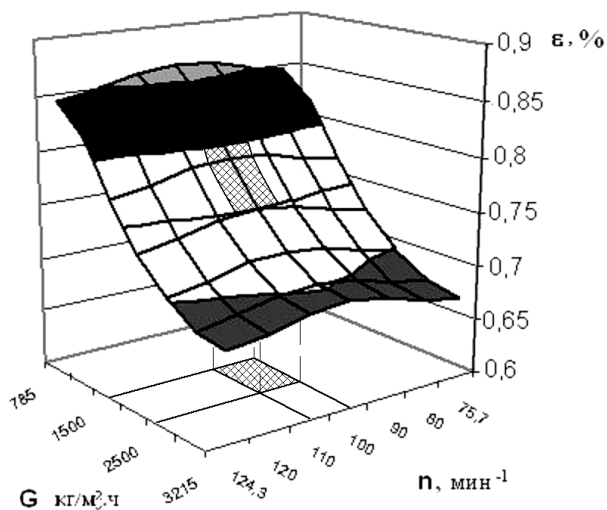


Рисунок 13 - Зависимость полноты разделения от удельной нагрузки на решето G и частоты вращения приводного вала n ; $\alpha = 45^\circ$.

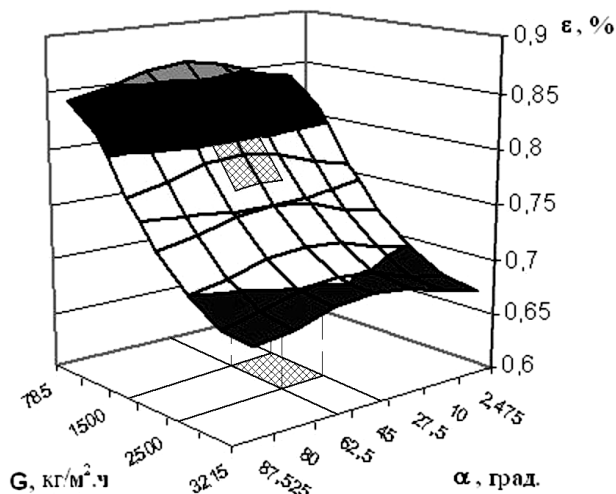


Рисунок 14- Зависимость полноты разделения от углов наклона отверстий α и удельной нагрузки на решето G ; $n = 100 \text{ мин}^{-1}$.

Как видно из рисунков 12...14 удельная нагрузка, угол наклона длинных кромок отверстий, и частоты вращения приводного вала существенно влияют на полноту разделения, причем первые два – в большей степени. Область варьирования факторов захватывает рациональные режимы работы сепаратора. Выявлены параметры рационального режима, интенсифицирующие процесс сепарации зерна для режима вторичной очистки: $G = 1900...2600 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, $n = 95...105 \text{ мин}^{-1}$, $\alpha = 32,6^0...47,2^0$.

С целью проверки подтверждения результатов теоретического исследования экспериментом было проведено сопоставление характерных зависимостей (рис 15)

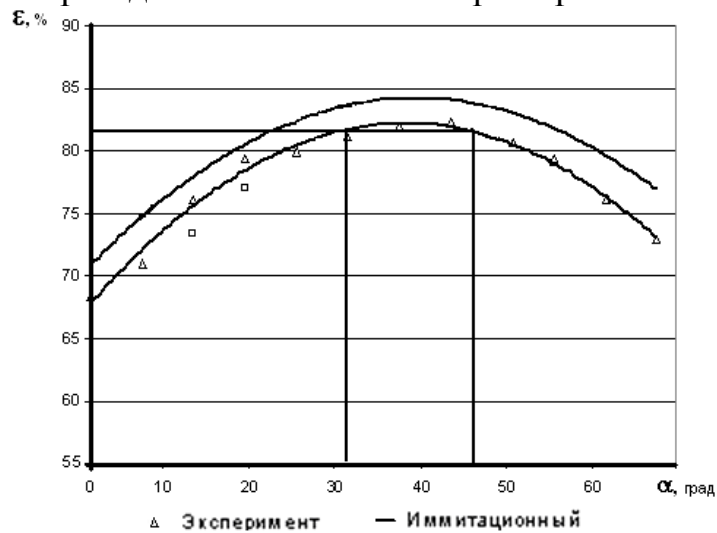


Рисунок 15 – Результаты теоретического и экспериментального исследований

Как видно из графиков (рис.14), теоретическая и экспериментальная зависимости повторяют одну и ту же закономерность и незначительно различаются в абсолютных величинах.

Проведены исследования по определению потерь основной культуры. График зависимости приведен на рис. 15.

С увеличением нагрузки на решето величина потерь основной культуры возрастает, что связано с усложнением процесса сепарации в стесненных условиях, когда не все зерна основной культуры могут пройти в отверстия.

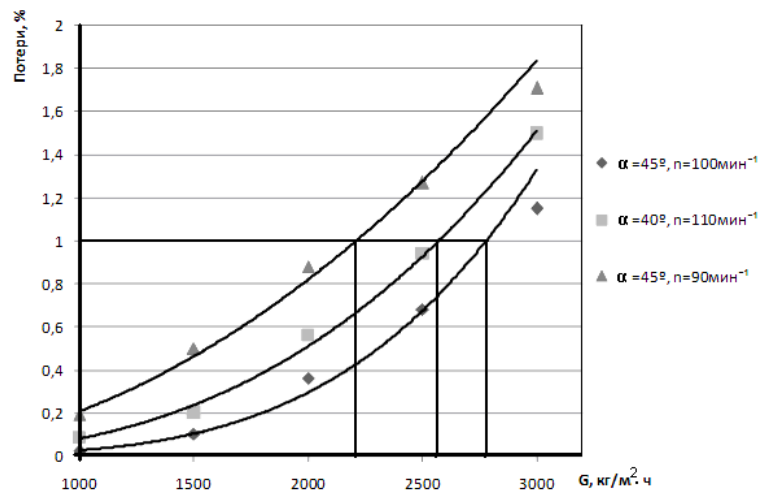


Рисунок 16 – Графики зависимостей потерь основной культуры.

При испытании сепаратора были получены зависимости полноты разделения и потерь для различных культур, возделываемых на севере Омской области.

Для оптимизации загрузки решет зерновой смесью на различных культурах в условиях вторичной очистки зерна были выявлены следующие значения рациональных подач при сортировании клевера $G = 500 \dots 680 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$, для пшеницы «Росинка» $G = 1900 \dots 2300 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$, для сои $G = 2000 \dots 2600 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$.

Проведены также сравнительные опыты при угле $\alpha = 0^\circ$ и при угле $\alpha = 45^\circ$ рис 16.

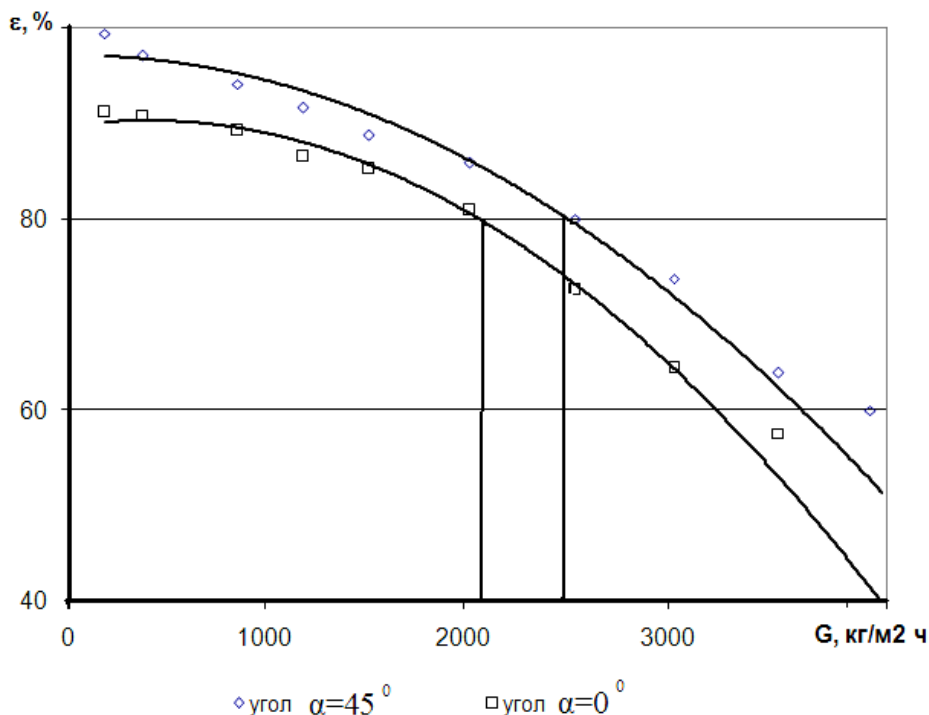


Рисунок 17 – Зависимость удельной нагрузки на решето G от углов наклона отверстий α .

При одинаковой полноте разделения ($\epsilon=0,8$), удельная нагрузка на решето с отверстиями расположенными под углом к образующей на 10 % больше, чем при расположении отверстий по окружности ($\alpha=0$).

В пятой главе «Расчет экономической эффективности» представлены результаты производственной проверки предлагаемого сепаратора и выполнены расчеты экономической эффективности.

Экономическая эффективность от внедрения в производство была рассчитана в сравнении с сепаратором конструкции ОмГАУ, а также с решетным станом серийной зерноочистительной машины РЕТКУС Гигант К531/1-1.

При эксплуатации предлагаемого сепаратора на рациональном режиме полученные результаты производственных испытаний подтвердили основные показатели экспериментальных исследований: в условиях вторичной очистки зерна пшеницы (при полноте разделения $\epsilon=0,8\%$) производительность составила 1,25..1,45 т/ч при удельных энергозатратах 0,31...0,37кВт·ч/т.

Проведенные расчеты показали, что использование предлагаемого сепаратора экономически обосновано. При эксплуатации сепаратора, по сравнению с сепаратором конструкции ОмГАУ, снижаются такие показатели как: себестоимость единицы готовой продукции – на 24%, удельное потребление электроэнергии – на 23 %. Годовой экономический эффект составил 9462,8 руб, срок окупаемости затрат 1,96 года.

Общие выводы

1. Проведенные теоретические исследования позволили установить зависимость полноты разделения от угла наклона отверстий. Рациональный диапазон составляет $30...47^{\circ}$.

2. Теоретически и экспериментально обоснованы значения конструктивных параметров: длина подвесок 380 мм, кривошипа – 150 мм, шатуна – 350 мм, перемишки – 30 мм, масса противовесов составляет $m'_{\text{ур}} = 3,8\text{кг}$, $m''_{\text{ур}} = 6,8\text{кг}$, $m'''_{\text{ур}} = 6,3\text{кг}$, длина и ширина решета соответственно равны 350 и 250 мм. Выявлена рациональная схема расположения прямоугольных отверстий на решетках. Наилучший результат наблюдается при однотипном расположении.

3. Экспериментально обоснованы рациональные значения режимов работы сепаратора: угол наклона отверстий $\alpha = 32,6...47,2^{\circ}$, частота вращения приводного вала $n = 95...105 \text{ мин}^{-1}$.

4. Определены качественные и количественные показатели сепаратора: удельная нагрузка на решето для режима вторичной очистки составляет $G = 1900...2600 \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{ч}$, что на 10 % выше чем при расположении отверстий по окружности ($\alpha=0$). Потери основной культуры оставались в пределах установленных норм.

5. Выполненные технико-экономические расчеты показали, что предлагаемый сепаратор позволяет получить: удельную энергоемкость процесса $0,31...0,37 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$; экономию прямых энергозатрат – 1,2 МДж/т; коэффициент эффективности по энергетическому критерию – 1,29. При использовании сепаратора, по сравнению с базовой моделью, снижаются следующие показатели: себестоимость единицы готовой продукции – на 24%, удельное потребление электроэнергии – на 23 %. Годовой экономический эффект составил 9462,8 руб., срок окупаемости затрат – 1,96 года.

Основные публикации по теме исследования

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых журналов рекомендованных ВАК

1. В.С. Коваль, А.В. Черняков. Зерноочистительная установка.// Сельский механизатор. – Москва, 2008. – С. 12-15.
2. В.С. Коваль, А.В. Черняков, А.В. Сухов. Экспериментальное исследование работы двух цилиндрических качающихся решет с продолговатыми отверстиями, расположенными под углом к плоскости их движения. // Омский научный вестник. – Омск , 2009г. С. 152-155.

Публикации в описаниях на изобретения, сборниках научных трудов, информационных листках

3. Патент на полезную модель 79011 РФ, МПК А01F 12/44. Решетный стан / А.В. Черняков, В.С. Коваль, А.В. Сухов (РФ). - №2008110154; Заявлено 17.03.2008.; Оpubл. 20.12.2008.// Бюл. № 35.
4. Патент на полезную модель 79012 РФ, МПК А01F 12/44. Решетный стан / В.С. Коваль, А.В. Черняков, А.В. Сухов (РФ). - №2008109352; Заявлено 11.03.2008.; Оpubл. 20.12.2008.// Бюл. № 35.
5. В.С. Коваль, А.В. Черняков. Сепаратор с двумя цилиндрическими качающимися решетками с наклонными отверстиями. // Машинно-технологическое обеспечение сельхозтоваропроизводителей Сибири. – Новосибирск 2008. – С. 447-480.
6. В.С. Коваль, А.В. Черняков. Экспериментальное исследование значимости факторов, влияющих на работу двух цилиндрических качающихся решет.// Материалы Международного научно-технического форума. – Омск 2009.- С.175-177.
7. В.С. Коваль. Проведение экспериментальных исследований на нескольких культурах. // Материалы 4-ой научно-практической конференции, посвященной 90-летию Омского государственного аграрного университета: Сборник научных статей. – Тара, 2008. – С. 50-52.
8. В.С. Коваль, Д.В. Сакара. Уравновешивание сил инерции механизма сепаратора зерна//Материалы VII- Международной научно-технической конференции.- Омск 2009.- С.96-98.,

Подписано в печать 15.03.10. Формат 60x84 1/16
Бумага «Снегурочка». Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Объем 1 печ.л. Тираж 100 экз. Заказ № 43.
Отпечатано в ИИЦ ГНУ ЦНСХБ СО Россельхозакадемии
63501, Новосибирская область, п. Краснообск.