

На правах рукописи

ТАРАСЕВИЧ
Светлана Владимировна

УДК 664.726.1(043.3)

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕПАРАТОРА
С ВИБРАЦИОННО-КАЧАЮЩЕЙСЯ РЕШЕТНОЙ
ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Барнаул 2006

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (АлтГТУ)»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
заслуженный изобретатель РФ
Злочевский Валерий Львович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Трухина Вера Дмитриевна;
кандидат технических наук,
доцент Сороченко Сергей Федорович

Ведущее предприятие: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский Государственный Аграрный Университет (АГАУ)»,
г. Барнаул

Защита состоится «21» декабря 2006 года в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 в Алтайском государственном техническом университете им. И.И.Ползунова по адресу: 656099, г. Барнаул, пр. Ленина, 46. E-mail: taras_s@list.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И.Ползунова

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

Автореферат разослан « » ноября 2006 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д 212.004.02
доктор технических наук, профессор

Куликова Л.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и состояние проблемы. Одной из важнейших технологических операций в процессах приема, хранения и переработки зерна является процесс сепарирования, т.е. разделение сыпучих материалов на фракции, отличающиеся свойствами частиц. Анализ статистических данных показывает, что существующая техника сепарирования по четкости разделения смесей недостаточно эффективна и не удовлетворяет возросших требований промышленности. Поэтому на сегодняшний день разработка новых теорий и техники сепарирования зерна и продуктов его переработки является весьма актуальной.

В настоящее время существует два подхода к решению этой проблемы: первый – многократное прохождение зерновой смеси через зерноочистительные машины, что нарушает непрерывность технологического процесса, снижает эффективность работы оборудования при последующих стадиях обработки и приводит к увеличению дробленых зерен; второй – создание новых высокоэффективных технологических схем, позволяющих получить заданные параметры качества разделяемых материалов.

В данной работе создан, теоретически проанализирован и испытан новый вид сепарирующего устройства, позволяющий повысить эффективность сепарирования зернового материала, которое одновременно использует различные схемы технологического процесса на сравнительно небольшой площади устройства.

В настоящее время достаточно хорошо исследованы методы сепарирования материалов по наклонной вибрирующей решетной поверхности, обеспечивающей движение материала как упруго-пластичной среды при малом уровне вибраций решета, так и при высоком уровне вертикальных колебаний, когда материал ведет себя как псевдожидкость.

Кроме того, известны способы сепарирования на качающихся поверхностях различной конфигурации с относительно малой частотой и большой амплитудой.

Раздельно эффекты сепарирования, основанные на двух последних указанных принципах, достаточно хорошо изучены.

В данной работе предпринята попытка соединить оба этих синергетических эффекта в условиях одной установки. Основой принципа действия устройства является вибрационно-качающийся механизм колебаний дугообразного решета с регулируемой скоростью осевого движения материала в область схода.

Целью работы является повышение технологической эффективности процесса сепарирования зерновых материалов при использовании решетных поверхностей.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи исследований**:

1. Исследовать и экспериментально обосновать закономерности движения виброожиженного слоя зернового материала в целом как сплошной псевдоожиженной среды.
2. Создать математическую модель движения зернового материала на решетной поверхности, совершающей вибрационно-качающиеся колебательные движения.
3. Исследовать, математически описать и экспериментально подтвердить принятый закон сепарирования зернового материала при его движении по решетной поверхности.
4. Разработать расчетно-экспериментальные методики определения базовых параметров расчетной модели и создать алгоритм расчета сепараторов с вибрационно-качающимся принципом действия рабочего органа по исходным заданным эффективным параметрам процесса (степень очистки, производительность, габариты устройства и др.).
5. Обосновать эффективность данного метода сепарирования по сравнению с другими известными.

Объект исследования - процесс движения и сепарирования смеси зерновых материалов на сепарирующем устройстве с вибрационно-качающимся принципом действия рабочего органа.

Предмет исследования – закономерности процесса движения и сепарирования смеси зерновых материалов на вибрационно-качающемся решете сепарирующего устройства.

Научная новизна работы. Показана возможность описания закономерности движения относительно тонкого (до 20мм) виброожиженного слоя зернового материала пшеницы для условий работы решетного сепаратора с позиций классических законов гидромеханики. Созданы и исследованы математические модели движения частиц зернового материала пшеницы как на плоской наклонной нормальновибрирующей, так и на криволинейной виброкачающейся поверхности рабочего органа сепарирующей машины. Разработана математическая модель сепарирования исследуемого виброожиженного зернового материала при его движении по решетной поверхности. Представлен многопараметрический информативный расчетно-экспериментальный

инженерный метод расчета сепараторов с вибрационно-качающимся принципом действия рабочего органа.

Практическая ценность результатов данной работы состоит в том, что они позволяют производить расчет и создавать конструкции сепараторов, основанных на вибрационно-качающемся принципе действия рабочего органа по заданным производительным и эффективным характеристикам. Используя созданный метод расчета, можно решать задачи оптимизации конструкций подобных сепарирующих устройств по различным технологическим факторам; замены действующих сепарирующих устройств более эффективными, вписываясь в заданные пространственные габариты существующих линий переработки зерна. Результаты исследований используются в учебном процессе АлтГТУ и приняты к внедрению на ООО Машиностроительном заводе «Мельник» г. Барнаула.

Достоверность. Выводы и результаты теоретических исследований подтверждены экспериментально и имеют достаточную сходимость данных.

На защиту выносятся

1. Математические модели движения и сепарирования смеси зерновых материалов на решетных поверхностях с вибрационно-качающимся принципом действия.
2. Методики определения проходовых и реологических параметров зерновых материалов на решетной поверхности.
3. Основы метода расчета сепаратора нового типа (патент на изобретение № 2279930 «Сепаратор-классификатор»).

Апробация работы. Основные результаты исследований были доложены и одобрены на научно-практических конференциях студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава Алтайского государственного технического университета (2003-2006 г.). На научных семинарах кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета (2004-2006 г.) и института техники и агроинженерных исследований Алтайского государственного аграрного университета (2006 г.). На 2-й Всероссийской научно-практической конференции «Наука и молодежь» (2005 г.) г. Барнаул. На 11-й международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-11-2005)» г. Томск, ТГУ.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 печатных работ, в том числе получен патент РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация содержит 145 страниц, включая 4 таблицы, 39 рисунков и состоит из введения, пяти глав, списка литературы из 163 наименований, в том числе 2 на иностранном языке, и приложений.

В процессе работы над диссертацией автор пользовался научными консультациями кандидата технических наук, доцента кафедры «Детали машин» А.В. Баранова.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и выбрано направление исследования.

В первой главе дан анализ существующих методов расчета и путей интенсификации процесса сепарирования смеси зерновых материалов на решетчатых поверхностях. Проанализированы работы ведущих исследователей в данной области, посвященные изучению сущности процесса сепарации. Установлено, что дискретность рабочей среды вынуждает исследователей рассматривать законы движения зерновой смеси как отдельных материальных частиц обособлено, вне силовых связей с соседними частицами, что не отражает реальной физической картины процесса, либо прибегать к использованию вероятностных методов анализа. Принято решение в данной работе использовать квазидетерминированный подход, позволяющий учесть максимальное количество факторов с позиций физики происходящих процессов.

На основании анализа проведенных исследований предложена схема работы сепарирующего устройства, кинематика движения рабочего органа которого основана на вибрационно-качающемся принципе действия (рисунок 1). При этом вибрационные колебания осуществляются в вертикальной плоскости с параметрами выше уровня псевдооживления материала.

Такой подход к решению вопроса создания сепаратора позволил:

1. за счет эффекта виброоживления значительно увеличить подвижность слоя и как результат – увеличить скорость движения зернового материала по качающейся решетчатой поверхности.
2. за счет значительных вертикальных вибрационных ускорений обеспечить эффективную самоочистку решета. При этом нормальная вибрация решета значительно сместит предельную тангенциальную скорость, при которой прекращается процесс сепарации в область больших значений.

3. использовать описание движения зернового материала, находящегося в новом (виброоживленном) агрегатном состоянии, не имеющем критических реологических параметров, с позиций теории сплошных сред. Для описания процесса движения слоя зернового материала предполагается использование классических физических законов, т.е. применить квазидетерминированный подход.

Поставлены цель и задачи исследований.

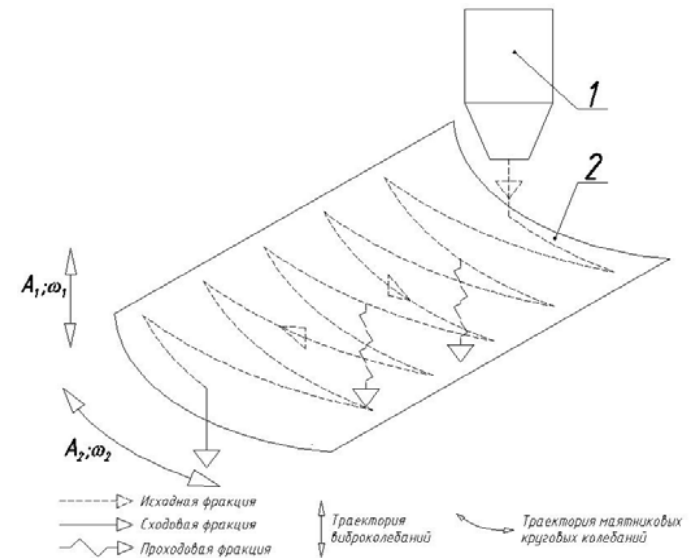


Рисунок 1 - Схема работы сепаратора: 1 – питатель; 2 – решет.

Во второй главе исследуется процесс движения относительно тонкого слоя сыпучих зерновых материалов на вибрирующей наклонной решетчатой поверхности. В случае вертикальных колебаний решета, при ускорениях, больших ускорений свободного падения (g), начинается отрыв зернового материала от поверхности с разрыхлением слоя. При этом он приобретает новые свойства. Коэффициент трения между отдельными частицами, находящимися в состоянии лишь ударных взаимодействий, в момент их отрыва становится равным нулю. По этой причине, в данных условиях, становится неприемлемым для описания процессов движения, использование традиционных фрикционных характеристик. Для описания поведения слоя сыпучего материала на

нормальновибрирующей поверхности необходимо принять реологическую модель его движения.

Н.Б.Урьевым, Н.В.Михайловым и П.А.Ребиндером впервые экспериментально доказано, что течение сыпучих материалов при определенных уровнях вибраций подчиняется законам, характерным для ньютоновской жидкости. Свойства виброожигенного слоя, как отмечают многие исследователи, по физико-механическим свойствам характерны для вязкой жидкости. Следует заметить, что понятие вязкости в применении к сыпучим материалам является весьма условным, но при определенных параметрах вибрации и толщине слоя эти системы приобретают текучесть, свойственную истинно вязким жидкостям, и могут быть охарактеризованы обычными реологическими параметрами, такими как эффективная кинематическая (ν) и эффективная динамическая (μ) вязкость.

В настоящей работе отмечается возможность описания закономерностей движения относительно тонкого слоя зернового материала, подвергнутого виброожигению, с позиций классических законов гидромеханики.

В соответствии с законом Ньютона для вязкой жидкости имеем:

$$\tau = \mu \frac{dV}{dx}, \quad (1)$$

где τ - касательное напряжение слоя; μ - эффективный коэффициент

динамической вязкости; $\frac{dV}{dx}$ - градиент скорости движения слоев.

Исследования силовых факторов, действующих на элементы виброожигенного слоя (рисунок 2), с учетом ряда допущений, привели к получению уравнения стационарного движения зернового материала на наклонной плоскости:

$$V_x = \frac{g}{\nu} \left[hx - \frac{x^2}{2} \right] \sin \alpha, \quad (2)$$

где h – высота слоя зернового материала; α – угол наклона поверхности к горизонту.

Заметим, что здесь скорость движения частиц слоя материала, выделенного на расстоянии x от основания, следует рассматривать как среднеинтегральное значение.

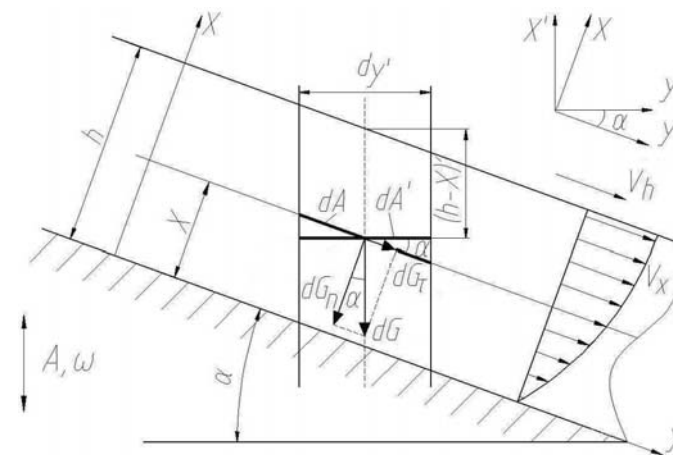


Рисунок 2 - Виброожиженный слой зернового материала на наклонной плоскости

Предварительные экспериментальные исследования, выполненные на экспериментальном вибрлотке и представленные на рисунке 3, подтверждают качественный характер зависимости скорости в функции угла наклона поверхности.

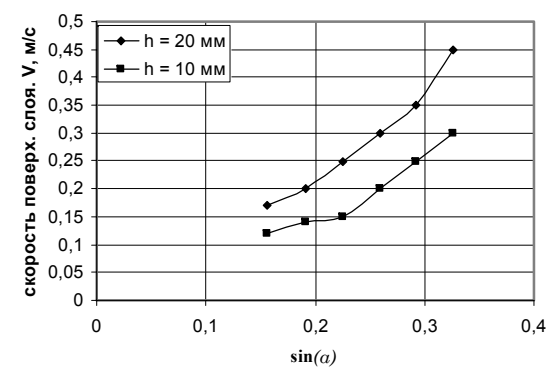


Рисунок 3 - График скорости зернового материала в функции синуса угла наклона плоскости

Достоверным экспериментальным фактом является также увеличение скорости движения поверхностного слоя материала в функции его высоты, установленный нами и рядом исследователей.

На рисунке 4 приведена экспериментальная зависимость кинематической вязкости ν в функции высоты слоя зернового материала h . Установлено, что существует предельная толщина слоя виброожиженного зернового материала (для пшеницы $h \approx 20$ мм), выше которой подвижность слоя резко падает, нарушается его однородность.

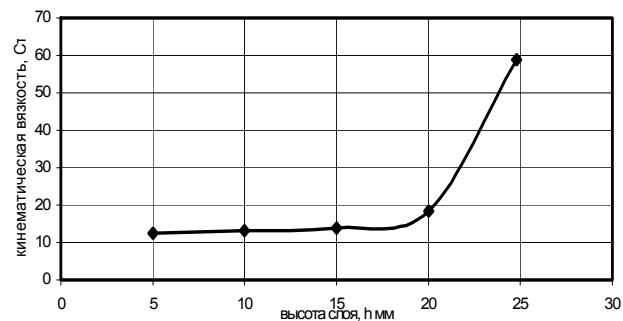


Рисунок 4 - График изменения эффективной кинематической вязкости зернового материала ν в функции высоты слоя h

Данная толщина была принята в качестве граничного значения адекватности разработанной модели движения слоя зернового материала.

Важным является факт практической неизменности значений эффективной кинематической вязкости ν , в функции скорости материала по решетку V (рисунок 5).

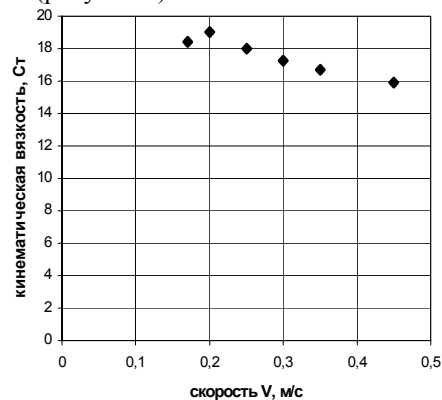


Рисунок 5 - График кинематической вязкости ν в функции скорости материала по решетку

Исследования нестационарного движения виброожиженного материала на наклонных поверхностях с учетом динамических нагрузок (рисунок 6) позволили рассмотреть вопрос о влиянии на данный процесс ускорения опорной поверхности.

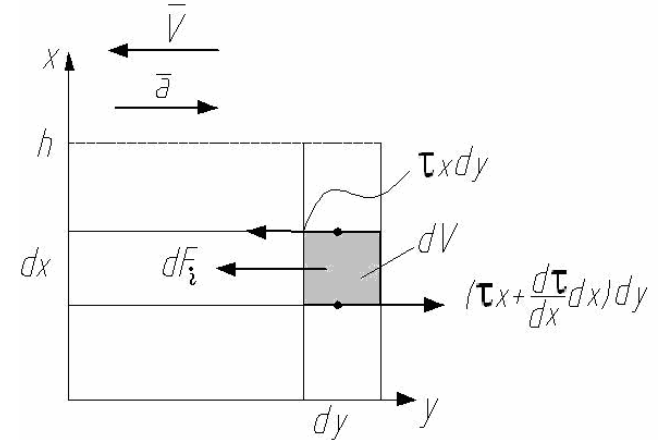


Рисунок 6 - К уравнению равновесия сил элементов слоя

Получено уравнение относительного движения элемента слоя на наклонной поверхности с учетом ускорений (а) последней вдоль плоскости основания слоя:

$$V_x = v^{-1}(g \sin \alpha - a) \cdot \left(hx - \frac{x^2}{2}\right) \quad (3)$$

Проведенные исследования позволили получить закономерности движения элемента слоя, находящегося на круговой поверхности, в цилиндрических координатах

$$V_x = -v^{-1}\left(g \sin \alpha + \frac{d^2 \alpha}{dt^2} \cdot r\right) \cdot \left(hx - \frac{x^2}{2}\right), \quad (4)$$

где t – время процесса,

и далее – среднюю скорость движения слоя материала по цилиндрической качающейся поверхности, совершающей маятниковые гармонические колебания:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{h^2}{3\nu} \left[\alpha_0 r \omega^2 \sin \omega t - g \sin \left[\alpha_0 \sin \omega t + \frac{y(t)}{r} \right] \right], \quad (5)$$

где α_0 – угловая амплитуда колебаний; r – радиус колебаний; ω – угловая частота гармонических колебаний; $y(t)$ – дуговое смещение материала относительно решета.

Это соотношение является дифференциальным уравнением движения элемента слоя относительно решетной поверхности. Интегрирование этого уравнения было реализовано численными методами в среде EXCEL с использованием ПК.

По результатам исследований можно сделать несколько выводов.

Анализ показал, что источником движения на качающейся криволинейной поверхности служит инерционно-гравитационный механизм, причем силы, создаваемые этими механизмами, являются конкурирующими.

Если решето движется с периодом окружных колебаний больше резонансного, инерционные силы, действующие на материал, незначительны. Материал «стекает» с поверхности под действием тангенциальной составляющей гравитационной силы. При этом интенсификация процесса может быть обеспечена большими углами наклона поверхности к горизонту.

В случае равенства силового воздействия обоих указанных источников движения, материал находится в покое относительно решетной поверхности. Такой режим, с точки зрения сепарирования, является нежелательным.

При периоде колебаний меньше резонансного, а следовательно, и больших окружных ускорениях инерционные тангенциальные силы значительны. Именно они теперь являются источником движения. В последнем случае возможности получения больших скоростей движения материала по решетку теоретически не ограничены, однако динамические нагрузки на элементы машины при этом значительны.

В работе эти три случая движения материала названы дорезонансной, резонансной и послерезонансной зоной периодов колебаний соответственно.

Также в главе рассмотрены и другие, более сложные случаи движения материала.

Полученная модель устанавливает связь характеристик движения материала в функции параметров сепаратора и используемого зерново-

го материала. Базовое значение кинематической вязкости ν зернового материала определяется экспериментально с использованием лабораторной установки.

В третьей главе принята физическая модель сепарирования зернового материала. В литературном анализе отмечается, что в настоящее время отсутствует универсальная математическая модель сепарирования зерновых материалов на решетной поверхности непосредственно пригодная для практических расчетов. В данном разделе предпринята попытка применить новый подход к решению этой задачи, используя представления из других областей знания.

На базе химической аналогии принята физическая модель сепарирования движущегося слоя зернового материала, интерпретируя процесс сепарирования как многостадийную гетерогенную химическую реакцию, происходящую на разделе фаз (виброожиженная среда – решетная поверхность) и имеющую подобную структуру массообмена.

На базе основного уравнения химической кинетики после рассуждений и преобразований представлено выражение (в работе подтвержденное экспериментально), характеризующее интенсивность прохода на решетной поверхности

$$W = Sc, \quad (6)$$

где W – удельный расход проходовой фракции зернового материала через решето; c – концентрация проходовой фракции слоя материала у решета; S – постоянная (параметр проходовой активности системы).

Рассматривая баланс проходовой фракции (ПФ) через неподвижный относительно решета элемент dv (рисунок 7) получено дифференциальное уравнение для концентрации ПФ по длине траектории движения зернового материала.

Решение этого уравнения после преобразований принимает вид выражения для эффективности очистки:

$$\varepsilon = 1 - \exp\left(-\frac{S}{h}t\right), \quad (7)$$

где t – время нахождения зернового материала на решетке.

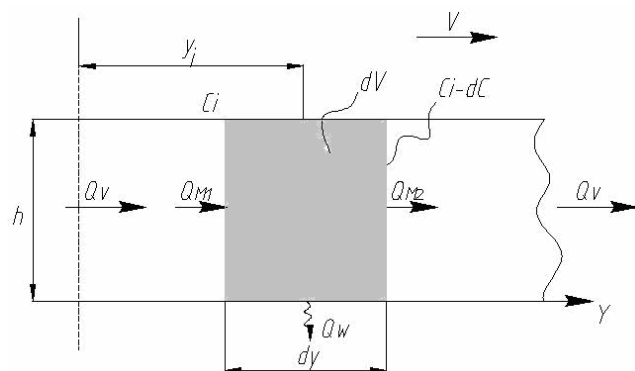


Рисунок 7. Баланс проходовой фракции движущегося зернового материала

На основании данных гипотетической модели создана математическая модель процесса сепарирования зернового материала, информативно отражающая сущность процесса. Отметим, что подобные выражения были получены другими исследователями в разное время (И.М. Абромовичем, А.В. Панченко, С.В. Васильевым, Н.И. Сысоевым, В.М. Цециновским, Е.А. Непомнящим, И.Е. Кожуховским), но совершенно с других позиций, базируясь на стохастических и эмпирических подходах. Это доказывает правильность принятой нами физической и математической модели сепарирования.

На основании собственных исследований и результатов работ исследователей, работающих в этой области, установлены технологические параметры вибрации решета и высоты слоя зернового материала, соответствующие частоте виброколебаний 45 Гц, амплитуде колебаний 1,2 мм и высоте слоя зернового материала (пшеница) до 20 мм.

В четвертой главе приведено описание и методы экспериментальных исследований сепарируемого зернового материала в условиях виброожижения. Для исследования процессов движения и сепарирования зернового материала использовались два типа экспериментальных лабораторных установок. **Первым** является малогабаритный аналог создаваемого сепарирующего устройства, представляющий собой установку с виброкачающимся решетом с соответствующей исследовательско-регистрирующей и управляющей периферией. **Вторым** устройством является наклонное решето для определения реологических и проходных параметров материала (вибrolоток).

Порядок проведения эксперимента был определен согласно ГОСТов и традиционных методик расчета показателей зерноперерабатывающих предприятий и элеваторов. Статистическая обработка опытных данных и анализ полученных результатов проводились классическими методами при использовании стандартного программного пакета «Statistica 6».

В качестве базового зернового материала использовалась реальная пшеница урожая 2004 года, выращенная в Алтайском крае и полученная сходом с решета 2×20 мм.

Для определения эффективной кинематической вязкости зернового материала были разработаны две расчетно-экспериментальные методики. Наиболее простая методика базировалась на определении поверхностной скорости движущегося слоя по наклонной плоскорешетной поверхности вибrolотка и использовании соотношения (2) при решении его относительно искомого параметра:

$$\nu = \frac{gh^2}{2V_h} \sin \alpha \quad (8)$$

Полученные результаты (включая графики рисунков 4, 5) свидетельствуют, что диапазон значений эффективной кинематической вязкости $\nu = 14 - 20$ Ст является базовым (для пшеницы с влажностью до 15 %) и не требует экспериментальной проверки. При более высокой влажности требуется дополнительная проверка параметров материала по разработанной методике.

Определение параметра проходовой активности производилось с использованием вибrolотка на основе соотношения (7). Последнее, с учетом особенностей конструкции установки, было преобразовано к виду

$$S = -\frac{2h \ln(1 - 1,444\varepsilon)V_h}{3y}, \quad (9)$$

где ε - экспериментальное значение отношения массы прохода к общей массе примеси проходовой фракции в исследованном материале; y - длина решета.

В экспериментальных исследованиях использовалась зерновая смесь, составленная по традиционной методике. В одном случае в качестве примеси с концентрацией 10 % использовалось битое и неполноценное зерно пшеницы (полученное проходом через решето 2×20),

в другом – зерна проса. Результаты исследований параметра S в функции средней скорости движения материала зерновой смеси представлены на рисунках 8 и 9.

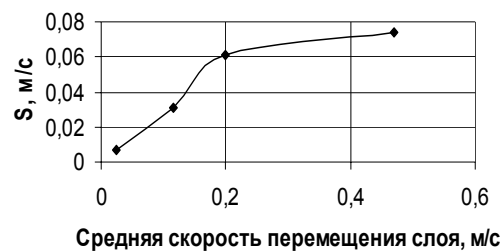


Рисунок 8 - Зависимость параметра проходовой активности S от средней скорости перемещения слоя зернового материала (проход - просо)

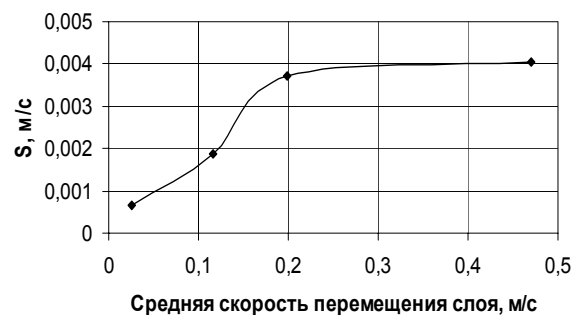


Рисунок 9 - Зависимость параметра проходовой активности S от средней скорости перемещения слоя зернового материала (проход - битое зерно пшеницы)

Из анализа графиков следует, что существует критическая скорость $V_{кр}$, выше которой параметр S растет медленнее, либо вообще не растет. В наших экспериментах с решетом 2×20 мм для материала пшеницы критическая скорость составила величину $V_{кр} \approx 0,2$ м/с и не зависит от дисперсности ПФ. Большая скорость не приведет к интенсификации процесса, но приведет к неоправданным излишним энергетическим затратам и динамическим нагрузкам на детали машины.

Приближенно указанные графики можно линеаризовать ломаной прямой (рисунок 10).

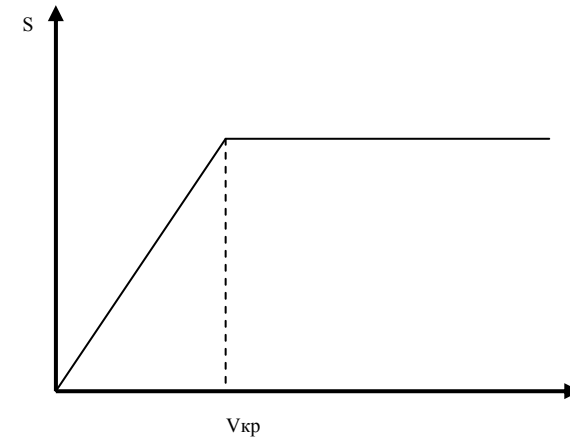


Рисунок 10 – Приближенная зависимость параметра проходовой активности S от средней скорости перемещения слоя зернового материала $\bar{V}$

Тогда начальный участок данного графика может быть описан линейной зависимостью вида

$$S = k \bar{V} , \quad (10)$$

где k – постоянная, соответствующая тангенсу угла наклона прямой.

В отличие от параметра S коэффициент k уже не зависит от скорости материала и может быть охарактеризован как *безразмерный коэффициент проходовой активности материала*. Для проведенных экспериментов по рисунку 8 и 9 его величина соответственно составила: $k = 0,02$ и $k = 0,3$.

Далее в главе проведен компьютерный анализ средней скорости движения материала относительно решета с использованием численных методов для ряда соотношений амплитуд, радиусов и периодов колебаний решетной поверхности. Результаты одного из модельных испытаний приведены на рисунке 11. Здесь знак минус скорости в послерезонансной зоне следует рассматривать как запаздывание по фазе движения материала относительно движения самого решета.

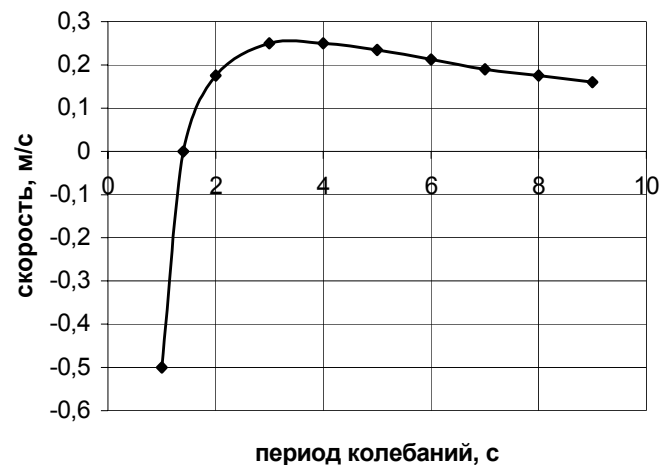


Рисунок 11 - Средняя скорость движения зернового материала при разных периодах колебаний при $v = 0,0014 \text{ м}^2/\text{с}$, $R = 0,5 \text{ м}$, $\alpha_0 = 45^\circ$ и $h = 20 \text{ мм}$

Из графика видно, что в дорезонансной зоне имеется определенный экстремум.

Ранее было показано, что интенсивность процесса сепарирования ограничивается критической скоростью движения материала по решетной поверхности. Учитывая, что экстремальные значения скоростей и критическая величина скорости сепарирования соизмеримы, рабочей областью (оптимальным периодом) предложено считать область экстремума скорости дорезонансной зоны со свойственной ей спокойной безынерционной малоэнергозатратной работой оборудования.

Комплексная диаграмма интенсивности движения материала по решетку с учетом амплитуды окружных колебаний представлена на рисунке 12.

Компьютерные исследования динамики движения материала в дорезонансной экстремальной зоне, проведенные на базе модели движения материала, показали, что радиус колебаний решета практически мало влияет на абсолютную величину экстремальной скорости (рисунок 13). Основным фактором, определяющим величину последней, является угловая амплитуда колебаний. Отмечается также, что положение области экстремальных значений скорости по периоду колебаний решета практически линейно растет с увеличением радиуса колебаний

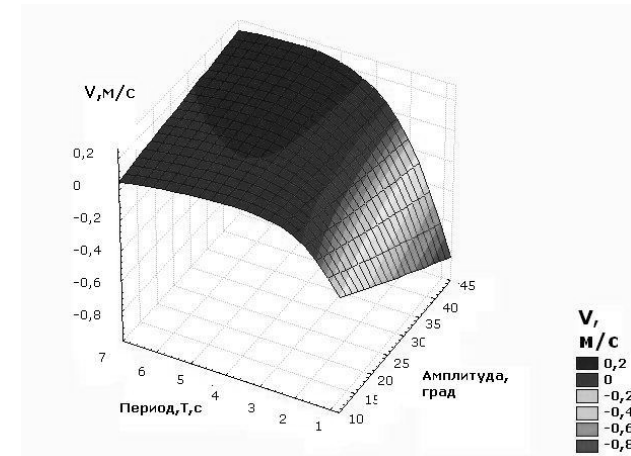


Рисунок 12 - Комплексная диаграмма интенсивности движения материала по решетку

и очень незначительно падает с увеличением вязкости слоя для исследованной зерновой смеси (рисунок 14).

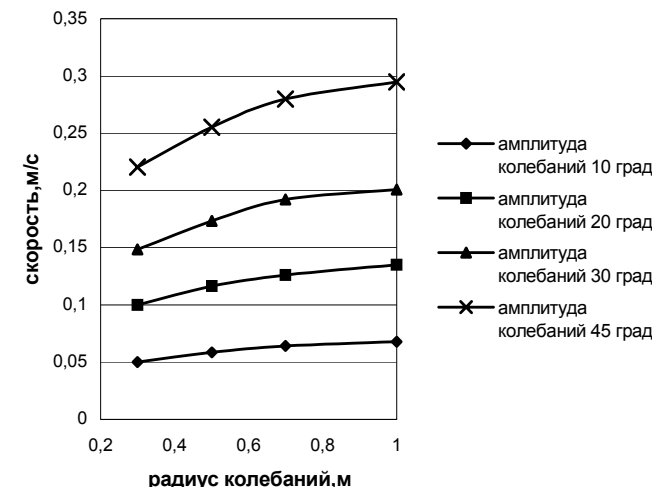


Рисунок 13 - Зависимость средней экстремальной скорости от радиуса и амплитуды колебаний решета

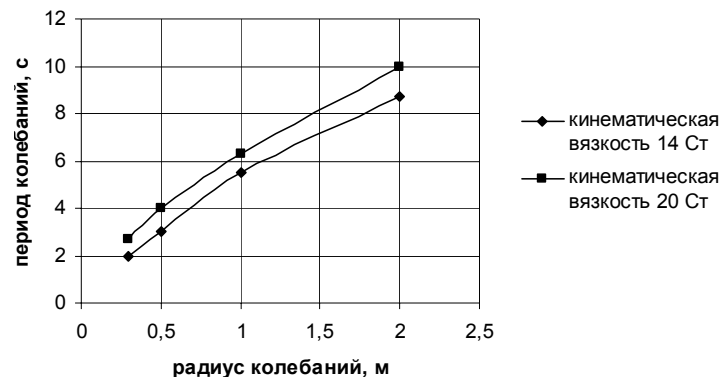


Рисунок 14 - Период колебаний при экстремальной скорости

Проведенные в главе исследования являлись базой для анализа работы и расчета экспериментального сепаратора.

В пятой главе изложены теоретические основы алгоритма расчета сепаратора с вибрационно-качающимся принципом действия рабочего органа.

Приведен пример расчета сепаратора с заданными параметрами производительности ($Q = 2$ т/ч) и эффективности разделения материала ($\epsilon = 0,9$). По результатам расчета получены основные конструктивные и технологические параметры сепарирующего устройства ($R = 1$ м; $\alpha_0 = 30^\circ$; $v = 0,0014$ м²/с; $h = 20$ мм; период колебаний решета $T = 5,3$ с; угол наклона оси решета к горизонту $\alpha = 4,086^\circ$; осевая длина решета $L_{дл} = 0,759$ м; дуговая ширина решета $L_{ш} = 1,33$ м; $t_{тр} = 11,51$ с). Удельная нагрузка на решето составила величину $0,558$ кг/м²·с.

Проведены сравнительные исследования параметров существующих сепараторов и экспериментального (рисунок 15), показавшие хорошие технологические данные экспериментального сепаратора.

Оценка адекватности разработанного метода производилась на основании расчетов и испытаний полноты разделения зерновых материалов на малогабаритной экспериментальной установке в дорезонансной области колебаний решета радиусом кривизны $R=0,4$ м, длиной решета $L_{дл} = 0,3$ м и толщиной слоя материала $h = 10$ мм. Ширина питателя в осевом направлении решета с регулируемой подачей зерна составляла величину $l = 100$ мм. В качестве 10% примеси к сходовой фракции пшеницы с влажностью 15% на решете с прямоугольными

отверстиями 2 x 20 мм использовалось битое и неполноценное зерно той же пшеницы.

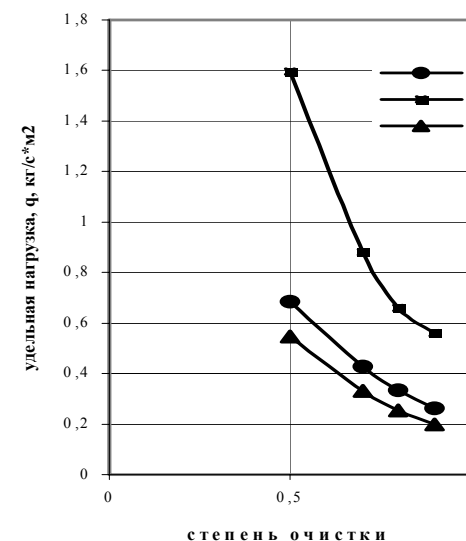


Рисунок 15 - Влияние нагрузки на качество работы решет зерноочистительных машин (на пшенице влажностью до 15% и содержанием примеси не более 10%): 1 – цилиндрическое решето сепаратора, используемого в технологической линии подготовительного отделения ООО Машиностроительного завода «Мельник»; 2 – виброкачающееся решето с отверстиями 2 x 20 экспериментальной машины; 3 – подсевное решето с отверстиями 2,4 x 20 плоскорешетной зерноочистительной машины «Воронежсельмаш».

По расчетам, с принятой кинематической вязкостью зерновой смеси $\nu = 0,0014 \text{ м}^2/\text{с}$, экстремальный период колебаний решета составил величину $T = 5 \text{ с}$, резонансный – $T = 1,27 \text{ с}$.

Исследования производились при периодах колебаний 2с, 5с, 15с, т.е в до-, после- и в самой экстремальной зоне в области дорезонансного периода. Результаты теоретических исследований приведены в таблице. Сравнительная экспериментальная характеристика – на графике (рисунок 16).

Таблица - Результаты теоретических исследований

№	Период колебаний, Т, с	Ср. скорость материала, отн. решета, м/с	Ср. осевая скорость материала, м/с	Угол наклона оси решета, α, град.	Время нахождения матер. на решете, t, с	Степень очистки, ε	Ср. скорость решета, м/с	Производительность, кг/с
1	2	0,04	0,1	25	3	0,5	0,2	0,16
2	5	0,06	0,04	10	8	0,8	0,08	0,07
3	15	0,04	0,01	3	30	0,97	0,03	0,02

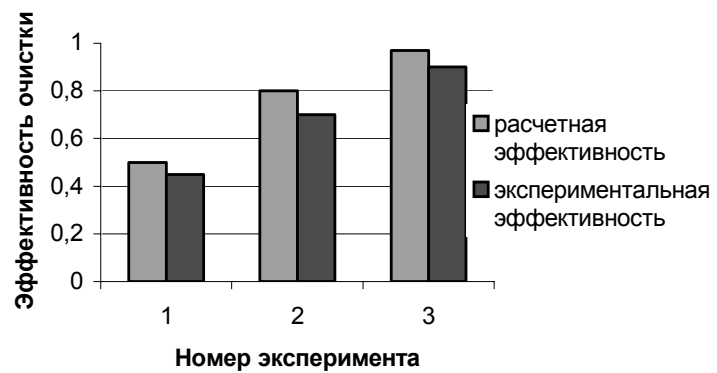


Рисунок 16 - Сравнительная характеристика расчетных и экспериментальных данных

Расхождение расчетных данных с экспериментальными не превысило 20 %.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ существующих видов современных сепарирующих устройств. Установлено, что плоские и цилиндрические решетчатые поверхности не удовлетворяют потребностям практики как по эффективности работы, так и по технологическим показателям. Показана целесообразность использования в качестве рабочего органа вибрационно-качающейся криволинейной решетчатой поверхности. Такой комплексный подход позволяет повысить эффективность машины за счет использования синергетического эффекта двух известных методов сепарирования на одной решетчатой поверхности.
2. Разработаны методы экспериментальных исследований сепарируемого зернового материала в условиях виброожижения. Проведены эксперименты по исследованию параметров движения и сепарирования зернового материала пшеницы.
3. Экспериментально установлено, что в определенном амплитудно-частотном диапазоне вибрационных колебаний зерновую смесь пшеницы толщиной до 20 мм можно представить как псевдожидкость с использованием для описания динамики ее движения классических законов гидромеханики. Созданы математические модели движения виброожиженного слоя зернового материала на наклонной плоской и качающейся криволинейной решетчатых поверхностях. Модели движения реализованы в виде компьютерных программ в среде EXCEL.
4. Создана и экспериментально обоснована математическая модель сепарирования слоя зернового материала при движении по нормальновибрирующей решетчатой поверхности. Предложены к использованию универсальные проходовые характеристики зерновых смесей (S и k), получаемые расчетно-экспериментальным методом и являющиеся базовыми исходными данными для проектирования. Разработаны методики определения реологических и проходовых параметров исходной зерновой смеси.
5. Установлены значения технологических режимных параметров вибрации решета (частота 45 Гц, амплитуда 1,2 мм) и высоты слоя ($h = 20$ мм) для пшеницы с точки зрения наилучших технико-экономических показателей разрабатываемого сепаратора. Показано, что при этих параметрах для зерновой смеси пшеницы с влажностью до 15% эффективный коэффициент

кинематической вязкости ν составляет величину 0,0014...0,002 м²/с и не требует экспериментальной проверки. При большей влажности он определяется экспериментально по разработанной методике.

6. Установлено, что имеется критическая скорость движения зернового материала пшеницы, выше которой прекращается рост параметров проходовой активности. Она не зависит от дисперсности примеси и для решета с отверстиями 2 x 20 мм составляет величину 0,2 м/с.
7. Проведены модельно-экспериментальные исследования. Установлено, что дорезонансная зона по периоду маятниковых колебаний, с присущей ей безынерционной работой рабочего органа и малым уровнем динамических нагрузок, имеет экстремум средней скорости движения материала, соизмеримый с критической скоростью сепарирования. Режим экстремальной скорости принят как рабочий. Соответствующий период маятниковых колебаний, с учетом конструктивно-технологических параметров, определялся с использованием созданной компьютерной программы движения материала.
8. Создан метод инженерного расчета сепараторов с вибрационно-качающимся принципом действия рабочего органа. Выявлены конструктивно-технологические факторы и степень их влияния на эффективность сепарирующего устройства.
9. Разработан алгоритм расчета экспериментального сепаратора, показавший его высокую эффективность по сравнению с существующими схемами сепарирования. Произведена проверка степени соответствия эффективных экспериментальных и расчетных параметров. Погрешность оценки по эффективности сепарирования составила величину не более 20%. Намечены пути снижения погрешности.
10. Результаты исследований используются в учебном процессе по курсу «Физико-механические свойства сырья и готовой продукции». Конструкция и метод расчета сепаратора приняты к внедрению на технологической линии переработки зерна ООО Машиностроительного завода «Мельник» г. Барнаула.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. **Тарасевич, С.В.** Анализ движения зернового материала на вибрационно-качающейся решетной поверхности сепаратора / **С.В. Тарасевич** // Изв. ВУЗов. Пищевая технология. -2006. - №6. – С. 73-75.
2. Сепаратор-классификатор: пат. 2279930 Рос. Федерация : МПК В 07 В 1/28 1/38 / Злочевский В.Л., **Тарасевич С.В.**; заявитель и патентообладатель АлтГТУ. - № 2004132115/03; заявлено 03.11.04 ; опубл. 20.07.06, Бюл. №20.
3. **Тарасевич, С.В.** Исследование динамики движения сепарируемого материала на виброкачающейся решетной поверхности / **С.В. Тарасевич**, В.Л. Злочевский // Хранение и переработка зерна. - 2006. - №6. – С. 32-34.
4. Злочевский, В.Л. Использование маятниковых колебаний для сепарации сыпучих материалов / В.Л. Злочевский, А.В. Баранов, **С.В. Тарасевич** // Расчет, диагностика и повышение надежности элементов машин: межвуз. сб. науч. тр.; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. – Вып. 5. - С. 11-15.
5. **Тарасевич, С.В.** Управление реверсивным приводом сепаратора сыпучих материалов / **С.В. Тарасевич**, А.В. Баранов // Расчет, диагностика и повышение надежности элементов машин: межвуз. сб. науч. тр.; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2004. – Вып. 5. - С. 15-17.
6. Злочевский, В.Л. Исследование процессов движения сепарируемых материалов на ситах с вертикальными виброколебаниями / В.Л. Злочевский, **С.В. Тарасевич**, П.А. Воронкин // Наука и молодежь: 2-я Всероссийская научно-практическая конференция. Секция Технология и оборудование пищевых производств: [Электронный ресурс]; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – С. 66. - (<http://edu.secna.ru/main/review/2005/n7/konf2/>). – (Загл. с экрана)
7. Злочевский, В.Л. Моделирование движения зернового материала на сепараторах со сложным движением рабочих органов / В.Л. Злочевский, А.В. Баранов, **С.В. Тарасевич** // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-11-2005):

- 11-я Международная научно-практическая конференция; Томский гос. ун-т; – Томск: Изд-во ТГУ, 2005. – С. 139-141.
8. Злочевский, В.Л. Исследование процесса сепарирования зернового материала на решетной поверхности со сложным движением / В.Л. Злочевский, **С.В. Тарасевич** // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: 8-я Научно-практическая конференция с Международным участием; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова. – Барнаул: АлтГТУ, 2005. – С. 39-43.
9. **Тарасевич, С.В.** Исследование процесса сепарирования зернового материала на вибро-качающейся решетной поверхности / **С.В. Тарасевич**, В.Л. Злочевский, А.В. Баранов // Расчет, диагностика и повышение надежности элементов машин: межвуз. сб. науч. тр.; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005. – Вып. 6. С. 25-29.

Подписано в печать 01.10.2006. Формат 60×84 1/16.

Печать - ризография. Усл.п.л. 0,93

Тираж 100 экз. Заказ 119/2006.

**Издательство Алтайского государственного технического уни-
верситета им. И.И. Ползунова,**

656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.

Лицензии: ЛР № 020822 от 21.09.98 года, ПЛД № 28-35 от 15.07.97

Отпечатано в ЦОП АлтГТУ 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46



