

На правах рукописи

САВРАСОВА Наталья Рэмовна



**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАЛИБРОВАНИЯ
КАРТОФЕЛЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ
ЛЕНТОЧНОГО СОРТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2011

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация машинно-тракторного парка» Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Челябинская государственная агроинженерная академия».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Латыпов Рафкат Мирхатович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент
Капов Султан Нануович

доктор технических наук, профессор
Охотников Борис Лазаревич

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Башкирский
государственный аграрный университет»

Защита состоится «20» мая 2011 г., в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.069.01 при ФГОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 75.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия».

Автореферат разослан «15» апреля 2011 г. и размещен на официальном сайте ФГОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» <http://www.csaa.ru>. «18» апреля 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Возмилов А.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В получении высоких и устойчивых урожаев картофеля важную роль играют качество семенных клубней и их предпосадочная подготовка. Посадка клубнями примерно одинакового размера и веса ведет к повышению производительности и качества работы картофелепосадочных машин. Однородный семенной материал позволяет снизить пропуски картофелепосадочных машин, повысить качество ухода за посадками, обеспечить дружные всходы и высокую урожайность. Семенные клубни не должны иметь внешних и внутренних повреждений. Повреждения семенных клубней отрицательно влияют на продуктивность семенного материала и на качество полученного из таких клубней урожая. Следовательно, при машинной посадке семенной картофель должен быть отсортирован и при этом не поврежден.

Анализ существующих типов калибрующих устройств показал, что наиболее полно удовлетворяют агротехническим требованиям к калиброванию семенного материала сортирующие устройства с ременными рабочими органами, которые не повреждают клубни, не забиваются при работе, на них легко осуществить регулировку. Однако основным недостатком устройств с ременными рабочими органами является более низкая, по сравнению с другими сортирующими устройствами, точность калибрования. Невысокое качество калибрования устройств с ременными рабочими органами обусловлено несоответствием их технологических и конструктивных параметров требованиям процесса.

В связи с этим вопросы исследования и установления закономерностей движения и взаимодействия клубней на поверхности калибрующих устройств с ременными рабочими органами с целью определения рациональных значений технологических и конструктивных параметров для повышения точности калибрования и исключения повреждений клубней на протяжении всего технологического процесса калибрования являются актуальными.

Работа выполнена в соответствии с Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008–2012 годы, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации 14 июля 2007 г.

Цель исследования. Повышение качества калибрования клубней картофеля на основе моделирования работы ленточного сортирующего устройства и совершенствования его режима работы и конструктивных параметров.

Задачи исследования:

1. Разработать математическую модель, позволяющую описать процесс движения и взаимодействия клубней на поверхности ленточного сортирующего устройства и установить влияние его режима работы и конструктивных параметров на качество калибрования картофеля.

2. Установить закономерности изменения максимального напряжения в мякоти клубней в зависимости от скорости их соударения и высот падения на ровную поверхность и на другой клубень.

3. Разработать методики: использования пакета Adams/View для моделирования процесса калибрования на ленточном сортирующем устройстве, проведения экспериментальных исследований.

4. Провести экспериментальные исследования процесса калибрования клубней на ленточном сортирующем устройстве при установленных режимах и конструктивных параметрах.

Объект исследования: технологический процесс калибрования клубней картофеля на ленточном сортирующем устройстве.

Предмет исследования: закономерности процесса движения и взаимодействия клубней картофеля на поверхности ленточного сортирующего устройства, взаимосвязь качества калибрования клубней картофеля с режимом работы и конструктивными параметрами устройства, закономерности изменения максимального напряжения в мякоти клубня при его контактных динамических взаимодействиях в процессе калибрования.

Методы исследования: теоретические исследования базировались на аналитической механике неголономных систем, на механике деформируемого твердого тела и на теории упругого удара Герца. В основе экспериментальных исследований лежат методы сопротивления материалов и математической статистики.

Научная новизна основных положений, выносимых на защиту:

1. Математическая модель, описывающая процесс движения и взаимодействия клубней на сортирующем устройстве с двумя

поверхностями, движущимися с разными скоростями и позволяющая определять скоростной режим работы и конструктивные параметры данного устройства для повышения качества калибрования.

2. Закономерности изменения максимального напряжения в мякоти клубней в зависимости от скорости соударения и высот падения на ровную поверхность и на другой клубень, полученные на основе теории упругого удара Герца.

3. Методики: использования пакета Adams/View для моделирования процесса калибрования на ленточном сортирующем устройстве; определения модуля упругости и предела прочности мякоти клубня при сжатии.

4. Результаты экспериментальных исследований.

Практическая значимость и реализация результатов работы. Применение ленточного сортирующего устройства для калибрования картофеля с рекомендуемым режимом работы и конструктивными параметрами позволяет повысить точность калибрования клубней, снизить их повреждаемость. Результаты исследований могут быть использованы в НИИ и КБ при проектировании и разработке конструкций ленточных сортирующих устройств.

Результаты работы внедрены в ОАО «Племзавод «Россия»» и используются в учебном процессе ЧГАА.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались: на ежегодных международных научно-технических конференциях ЧГАУ (2006–2009 гг.), ЧГАА (2010–2011 гг.); на международной конференции «Проблемы механики современных машин» (2009 г., ВСГТУ, г. Улан-Удэ); на Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы машиностроения» (2010 г., г. Самара).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 2 работы в изданиях, рекомендованных ВАК, имеется патент РФ на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 145 страницах машинописного текста, содержит 16 таблиц, 75 рисунков, состоит из введения, 4 глав, выводов и рекомендаций, 8 приложений. Список использованной литературы включает в себя 123 наименования.

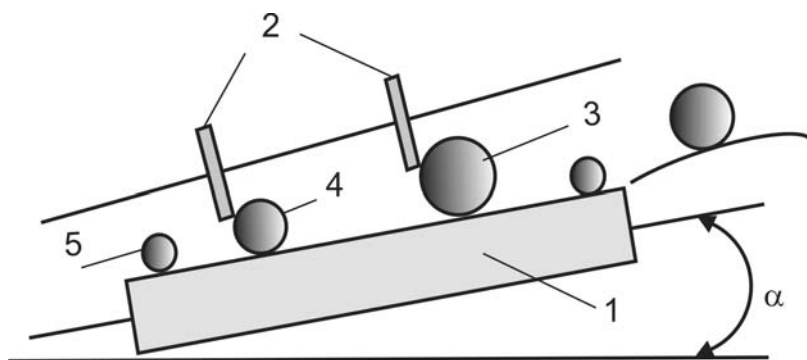
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, поставлена цель исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

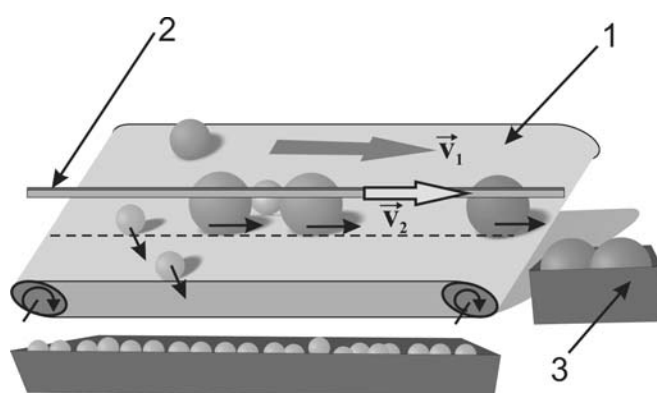
Первая глава «Состояние вопроса и задачи исследования» посвящена обзору способов калибрования клубней картофеля и состоянию научных исследований по описанию процессов движения и взаимодействия клубней при калибровании.

Показано, что наиболее перспективным для подготовки семенного картофеля является применение калибрующих устройств с ременными рабочими органами, в которых реализуется параллельная схема отделения фракций, позволяющая повысить качество и производительность процесса калибрования. Исходя из этого, для калибрования семенного картофеля предложено использовать ленточное сортирующее устройство транспортерного типа, разработанное в Южно-Уральском НИИ плодоовощеводства и картофелеводства, совместно с ЧГАУ(А), которое, сохраняя все достоинства ременных сортирующих устройств, должно обеспечить более высокое качество калибрования за счет реализуемой в нем параллельной схемы отделения фракций (рисунок 1).

Характерной особенностью данного устройства является наличие двух ленточных транспортеров: нижний (1) расположен под углом α к горизонту, верхний выполнен в виде двух параллельно расположенных клиновых ремней (2) (на рисунке 1 б показан один ремень). Клиновые ремни служат для задержки соответственно крупной (3) и средней фракций (4) картофеля на нижнем транспортере для последующего перемещения в приспособление для приема отсортированного картофеля. Мелкий картофель, размеры которого меньше величины зазора между плоскостью транспортера и ремнем, скатывается вниз по наклонной плоскости (5). Лабораторные испытания данного устройства выявили следующий недостаток: клубни крупной фракции, задерживаясь калибрующим ремнем, преграждали проход между ними клубням средней и мелкой фракций, что снижало качество калибрования.



а



б

Рисунок 1 – Схема ленточного сортирующего устройства транспортерного типа: а – вид сбоку; б – общий вид

Предположили, что разъединение клубней крупной фракции в процессе калибрования возможно путем реализации более высокой скорости перемещения калибрующих ремней по сравнению со скоростью нижнего транспортера. Это должно обусловить перекачивание крупных клубней, их разъединение, в результате чего должно освободиться пространство для прохода и скатывания клубней более мелкой фракции.

Для определения режима работы и рациональных конструктивных параметров ленточного сортирующего устройства, обеспечивающих наибольшую точность калибрования, необходимо установить, как влияют относительная скорость ремней и нижнего транспортера, угол наклона нижнего транспортера на характер движения

и взаимодействия клубней при калибровании. Для исследования процесса калибрования клубней на данном устройстве необходимо составить математическую модель, описывающую процесс движения и взаимодействия системы как минимум из трех тел округлой формы, опирающихся на две поверхности, одна из которых движется относительно другой.

Изучением задач динамики тел, соприкасающихся во время движения с неподвижной или движущейся твердой поверхностью, занимались: Г. Кориолис, А. Резаль, Э. Раус, П. Аппель, С.А. Чаплыгин, П.В. Воронец, Г.К. Суслов, А.П. Маркеев, Ю.И. Неймарк, Н.И. Фуфаев, В.В. Добронравов, Д.М. Климов, В.Ф. Журавлев, М.В. Ишханян и другие. На основе анализа данных исследований сделаны следующие выводы: в аналитической механике большинство решенных задач связано с движением одного тела (в основном шара) по различным шероховатым поверхностям; задачи о движении эллипсоида решены только для некоторых частных случаев; исследования системы тел ограничиваются системой из двух тел, когда одно помещено внутрь другого; задача о движении системы трех тел сферической формы в аналитической механике не решалась.

Для предупреждения повреждений клубней при ударах необходимо знать закономерности изменения максимального напряжения в мякоти клубня при различных условиях соударения. От величины максимального напряжения, от того, насколько оно превосходит предельно допустимое, зависит степень повреждения клубней.

Таким образом, анализ состояния вопроса позволил определить задачи исследования.

Вторая глава *«Теоретическое исследование процесса движения и контактного взаимодействия клубней при калибровании на ленточном сортирующем устройстве»* посвящена исследованию взаимодействия недеформируемых и деформируемых клубней при калибровании.

Поскольку при калибровании мелкий клубень задерживался на транспортере двумя более крупными, в математической модели рассмотрено взаимодействие трех клубней, два из которых опираются на нижний транспортер и движущийся ремень, а третий, более мелкий, опирается на нижний транспортер и первые два (рисунок 2).

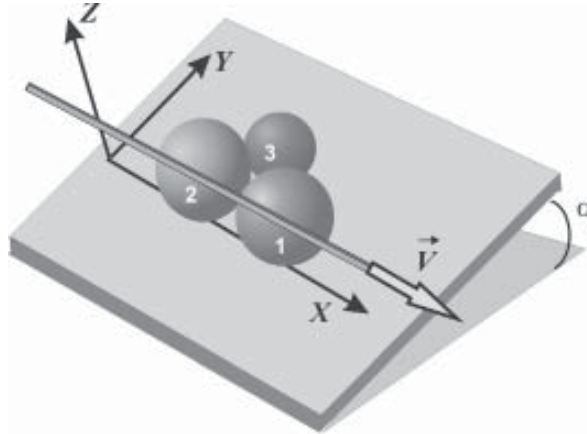


Рисунок 2 – Расчетная схема для математической модели

Приняты следующие допущения: клубни недеформируемые, имеют сферическую форму; радиусы больших клубней одинаковые; малый клубень находится в постоянном контакте с двумя большими в течение всего исследуемого процесса взаимодействия; в точках касания всех клубней с нижним транспортером, а также в точках соприкосновения первого и второго клубней с ремнем нет проскальзывания.

Математическая модель составлена по следующему алгоритму.

1. Введены голономные (геометрические) связи, накладывающие ограничения на положение системы тел в пространстве:

$$(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 = R^2; (x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 = R^2; \quad (1)$$

$$z_1 = r_1 = r; z_2 = r_2 = r; z_3 = r_3; y_1 = 0; y_2 = 0,$$

где x_i, y_i, z_i – координаты центра масс i -го шара;

r_i – радиус i -го шара;

$R = \sqrt{(r_{1,2} + r_3)^2 - (r_{1,2} - r_3)^2}$ – проекция расстояния между центрами масс шаров на плоскость XY (рисунок 3).

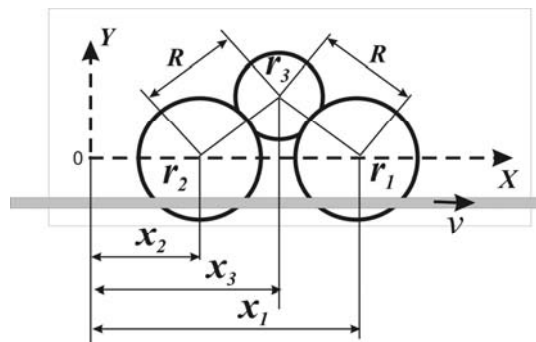


Рисунок 3 – Расчетная схема для введения голономных связей

2. Введено 11 обобщенных координат:

для первого и второго шаров – координаты центров масс вдоль оси X и три угла Эйлера ($x_1, \varphi_1, \theta_1, \psi_1, x_2, \varphi_2, \theta_2, \psi_2$); для третьего шара – три угла Эйлера ($\varphi_3, \theta_3, \psi_3$).

3. Введены неголономные (кинематические) связи, накладывающие ограничения на скорости точек контакта всех трех шаров с поверхностью, а первого и второго шаров – с ремнем (рисунок 4).

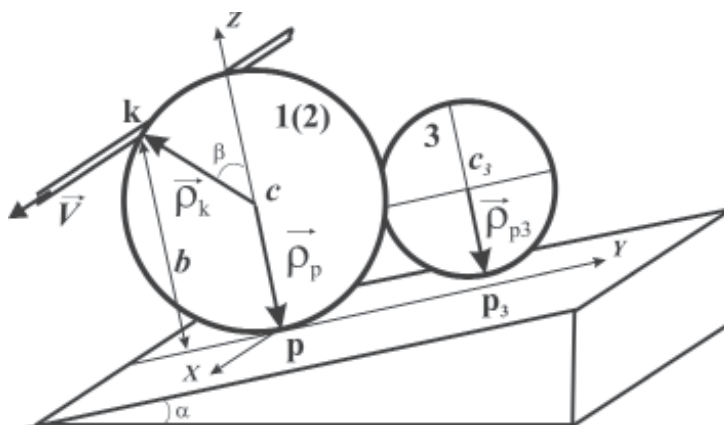


Рисунок 4 – Расчетная схема для введения неголономных связей

Уравнения неголономных связей:

– для первого и второго шаров

$$\begin{aligned}\vec{V}_{p(i)} &= \vec{V}_{c(i)} + \vec{\omega}_{(i)} \times \vec{\rho}_{p(i)} = 0; \\ \vec{V}_{k(i)} &= \vec{V}_{c(i)} + \vec{\omega}_{(i)} \times \vec{\rho}_{k(i)} = \vec{V};\end{aligned}\quad (2)$$

– для третьего шара

$$\vec{V}_{p3} = \vec{V}_{c3} + \vec{\omega}_3 \times \vec{\rho}_{p3} = 0,$$

где \vec{V}_p, \vec{V}_k – скорости точек контакта с поверхностью и ремнем соответственно; \vec{V}_c – скорость центра масс тела; \vec{V} – относительная скорость ремня; $\vec{\omega}$ – мгновенная угловая скорость тела; $\vec{\rho}_p, \vec{\rho}_k$ – радиус-вектора, определяющие положение точек контакта относительно центра масс шара; $i = 1, 2$ – индекс тела.

Уравнения неголономных связей спроецированы на координатные оси и выражены через обобщенные координаты и обобщенные

скорости с помощью кинематических уравнений Эйлера. В результате получено 6 дифференциальных уравнений, накладывающих ограничения на скорости тел в точках контакта с наклонной поверхностью и ремнем.

4. Составлена система дифференциальных уравнений движения с множителями Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = Q_k + \sum_i \lambda_i \alpha_{ik}, \quad (3)$$

где T – кинетическая энергия системы;

Q – обобщенная сила;

$k = 1 \div 11$ – индекс обобщенной координаты;

$i = 1 \div 6$ – индекс уравнения неголономной связи;

λ_i – множители Лагранжа;

α_{ik} – коэффициенты перед обобщенными скоростями в уравнениях неголономных связей.

Вместе с уравнениями неголономных связей получена полная система из 17 дифференциальных уравнений относительно 17 неизвестных: $x_1, \varphi_1, \theta_1, \psi_1, x_2, \varphi_2, \theta_2, \psi_2, \varphi_3, \theta_3, \psi_3, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$. Для определения указанных неизвестных система дифференциальных уравнений была численно проинтегрирована с помощью пакета MathCAD.

Основным критерием, согласно которому определялись скоростной режим работы и конструктивные параметры устройства (угол наклона нижнего транспортера и его длина), было выбрано время разделения клубней. Рациональные параметры устройства должны обеспечивать наименьшее время разделения. В математической модели окончанием процесса разделения считался момент, когда третий (малый) клубень окажется на одной линии между двумя большими. Чтобы малый клубень смог пройти между двумя большими, расстояние Δ между последними должно достигнуть величины Δ^* , определяемой выражением (рисунок 5):

$$\Delta^* = 2\sqrt{(r + r_3)^2 - (r - r_3)^2} - 2r. \quad (4)$$

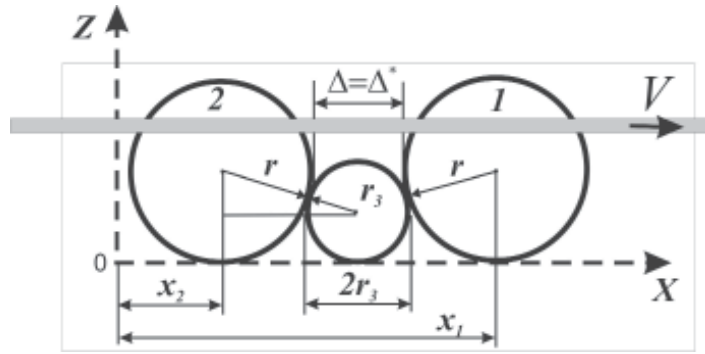


Рисунок 5 – Условие прохождения малого клубня между двумя большими

На рисунке 6 приведены графики изменения расстояния Δ между большими клубнями от времени при различных ($V = 0 \div 0,8$ м/с) относительных скоростях ремня.

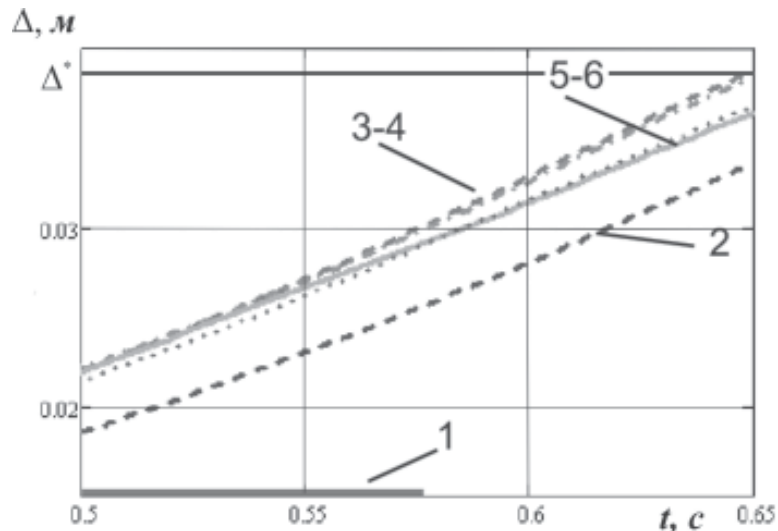


Рисунок 6 – Изменение от времени расстояния Δ между первым и вторым клубнями для угла наклона поверхности $\alpha = 20^\circ$ при различных относительных скоростях ремня V , м/с:
1 – 0; 2 – 0,05; 3 – 0,1; 4 – 0,3; 5 – 0,6; 6 – 0,8

Согласно расчетам, быстрее процесс разделения клубней произойдет при относительных скоростях ремня 0,1–0,3 м/с (графики 3–4). Увеличение относительной скорости ремня до 0,6–0,8 м/с приводит к замедлению процесса сепарации (графики 5–6). Очевидно, это связано с тем, что при увеличении скорости ремня увеличивается скорость движения системы всех трех тел вдоль нижнего транспортера и малому клубню требуется большее время, чтобы изме-

нить направление своей скорости и начать скатываться вниз. Когда ремень и нижний транспортер движутся с одной скоростью (относительная скорость ремня равна нулю), расстояние между первым и вторым клубнями не изменяется, оставаясь равным нулю (график 1), т.е. условий для скатывания третьего клубня не создается и процесс разделения невозможен.

Причина, по которой происходит разделение тел при условии их перекачивания, заключается в том, что в результате воздействия малого клубня на большие постепенно увеличивается скорость перекачивания первого клубня (рисунок 7, график 1) и уменьшается скорость второго (рисунок 7, график 2), что влечет за собой увеличение расстояния между первым и вторым клубнями и освобождение пространства для прохождения между ними третьего (мелкого) клубня.

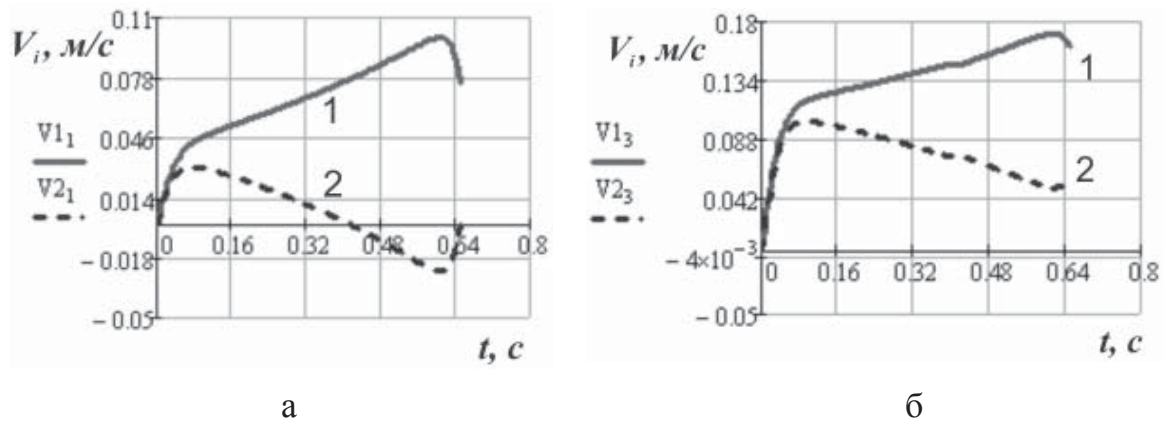


Рисунок 7 – Изменение скоростей первого (V_1) и второго (V_2) клубней вдоль оси X от времени при угле наклона поверхности $\alpha = 20^\circ$ и относительных скоростях ремня V , м/с: а – 0,1; б – 0,3

Причем при относительной скорости ремня 0,1 м/с второй клубень в какой-то момент времени начинает двигаться относительно транспортера в противоположном направлении (рисунок 7 а, график 2), что является нежелательным при калибровании. При скорости ремня 0,3 м/с оба клубня перемещаются в одном направлении (рисунок 7 б).

Также, согласно расчетам математической модели, установлено, что при увеличении угла наклона нижнего транспортера с 20° до 60° время разделения клубней уменьшается с 0,65 с до 0,4 с. Это можно объяснить тем, что при увеличении угла наклона нижнего транспортера возрастает давление малого клубня на большие

и, соответственно, увеличивается эффективность его воздействия на них, влияющая на изменение расстояния между большими клубнями.

Перекачивание клубней по поверхности нижнего транспортера может вызвать внутренние повреждения клубней в результате их соударений, повреждения возможны и при падении отсортированного картофеля в приемный бункер. Для предотвращения повреждений клубней при калибровании необходимо определить максимальное напряжение, возникающее в мякоти клубня при ударных нагрузках и на основании этого вычислить предельные высоты падения и скорости соударений клубня, не вызывающие разрушения клеток мякоти и, следовательно, ее потемнения.

Чтобы при определении напряжений в мякоти воспользоваться представлениями классической механики твердого деформируемого тела, в которой материал считается сплошным, однородным и изотропным, был выбран представительный объем, т.е. элементарный объем, физико-механические свойства которого представляют собой осредненные значения свойств всего материала (в данном случае – мякоти). Введены следующие допущения, позволившие применить для анализа напряженного состояния при ударе теорию упругого контакта Герца: клубни абсолютно упруги и имеют сферическую форму; поверхности контактирующих тел гладкие; деформации сосредоточены в окрестности области контакта; волновым движением в телах пренебрегают. Рассмотрены следующие случаи удара: удар клубня о плоскость, соударение двух свободных клубней, удар клубня о поверхность из плотно лежащих клубней. В каждом из рассмотренных случаев определены наиболее опасные, с точки зрения повреждаемости, ситуации.

Согласно теории Герца, максимальное эквивалентное напряжение возникает в точке, лежащей на оси площадки контакта, на глубине, равной почти половине ($0,48a$) радиуса a площадки контакта (внутри клубня). Полагаем, что именно эти напряжения над площадкой контакта вызывают разрушения клеток и, как следствие, потемнение мякоти внутри клубней при ударах. Для рассмотренных выше случаев соударения эта точка находится на глубине 2,5–6,0 мм от поверхности клубня.

Для определения величин максимальных напряжений, возникающих в окрестности площадки контакта, и для оценки прочностных свойств мякоти клубня, необходимых для расчета допустимых высот падения клубней и скоростей их соударений, необходимо знать

упругие и прочностные характеристики мякоти (модуль упругости и предел прочности). В связи с отсутствием в литературе систематизированных данных о физико-механических свойствах мякоти клубней для различных сортов в зависимости от сроков хранения потребовалось проведение экспериментальных исследований по определению модуля упругости и предела прочности мякоти клубня при сжатии для конкретного сорта семенных клубней после их зимнего хранения.

В третьей главе «Программа и методика проведения экспериментальных исследований» изложены цели, задачи и методики экспериментальных исследований.

Целью экспериментальных исследований являлась проверка адекватности разработанной математической модели процесса движения и взаимодействия клубней при калибровании на ленточном устройстве реальному физическому процессу, уточнение скоростного режима и конструктивных параметров устройства, а также определение характеристик жесткости и прочности мякоти клубня, необходимых для расчета допустимых высот падения и скоростей соударения клубней.

Для проверки адекватности математической модели физическому процессу калибрования в пакете MSC.Adams/View смоделирована ситуация, рассмотренная в математической модели: система из трех сферических тел калибруется движущимся ремнем (рисунок 8). Для создания поверхности транспортера, ремня и шаров использовались трехмерные объекты из библиотеки Adams /View. Помимо визуализации моделируемого процесса Adams предоставляет возможность проанализировать результаты расчетов при помощи графиков.

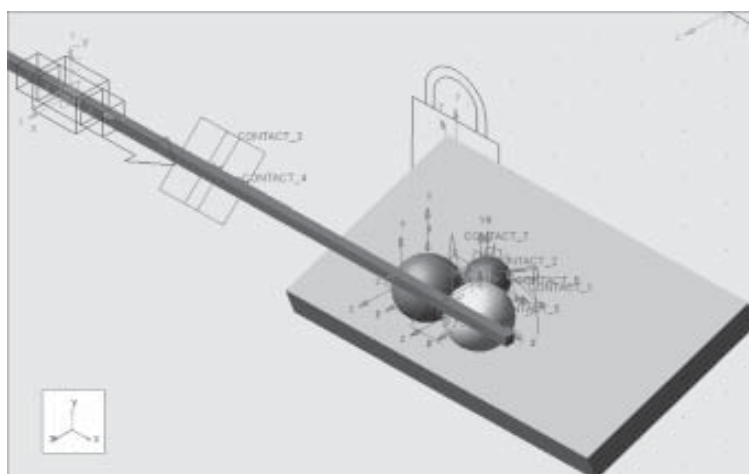


Рисунок 8 – Модель калибрующего устройства, созданная в пакете Adams/View

Для проверки достоверности разработанной математической модели реальному процессу калибровки изготовлена экспериментальная установка ленточного сортирующего устройства (рисунок 9).

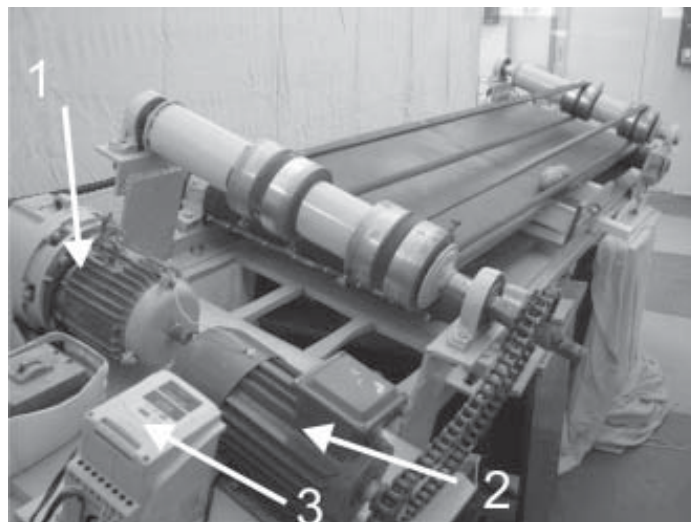


Рисунок 9 – Фотография экспериментальной установки

Нижний транспортер приводится в движение с помощью асинхронного электродвигателя (1) мощностью 1 кВт с понижающим редуктором посредством цепной передачи. Частота вращения приводного вала может изменяться за счет комплекта сменных звездочек. Верхний транспортер приводится в движение посредством приводной станции, включающей в себя асинхронный электродвигатель мощностью 2,2 кВт (2) и частотный преобразователь (3) Е2 «Веспер» 4, позволяющий регулировать частоту вращения вала электродвигателя в широком диапазоне. Частота вращения приводного вала верхнего транспортера замерялась и контролировалась тахометром ТЧ-10Р. Эксперимент, на основании расчетов математической модели, проводился с относительными скоростями ремня в диапазоне 0,1...0,8 м/с при неподвижном нижнем транспортере. Для считывания координат клубней на поверхность нижнего транспортера приклеивалась масштабная-координатная бумага. Процесс калибровки записывался на видео с помощью цифрового фотоаппарата Canon PowerShot S13IS. Время накладывалось уже на видеозапись с помощью программы редактирования видео. Показания координат клубней через каждые 0,03 секунды считывались уже с видеозаписи при покадровом просмотре эксперимента на компьютере.

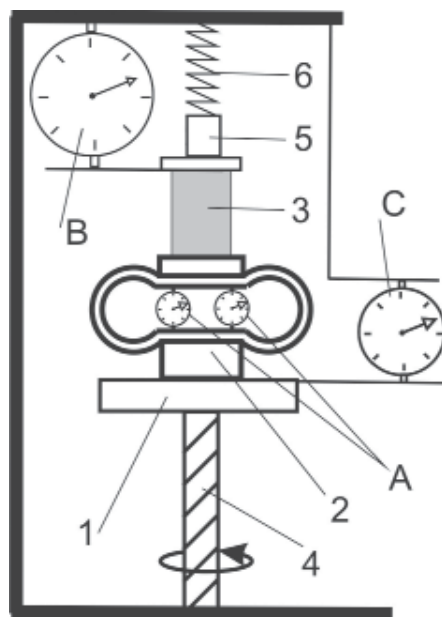


Рисунок 10 – Схема установки

Для определения модуля упругости и предела прочности мякоти клубня при сжатии создана установка на базе прибора ТК-14-250 для измерения твердости металлов и сплавов по методу Роквелла (рисунок 10). На стол (1) прибора ТК-14-250 установлен динамометр (2) с пределом измеряемых усилий от 2 до 200 Н. Два индикатора часового типа (А) с ценой деления 0,01 мм, прикрепленные к динамометру, отградуированы для измерения усилий. На площадку динамометра устанавливается образец (3), вырезанный из мякоти клубня. Подъемный винт (4) служит для подвода образца к наконечнику (5) и для последующего сжатия образца. Наконечник соединен с пружиной (6), величина сжатия которой измеряется индикатором (В) с ценой деления 0,002 мм. Величину перемещения рабочего стола измеряет индикатор часового типа (С), цена деления которого 0,01 мм. Согласно ГОСТ 4651-82, испытания проводились на образцах цилиндрической формы, вырезанных из мякоти клубней сорта Невский при помощи специальных приспособлений-шаблонов. По результатам сжатия образца строилась диаграмма деформирования, по которой определялись модуль упругости E и предел прочности образца $\sigma_{\text{в}}$.

Результаты экспериментов обрабатывались методами математической статистики.

В четвертой главе «*Результаты экспериментальных исследований*» представлены результаты экспериментальных исследований.

Сравнение результатов математической модели и моделирования процесса калибровки в пакете MSC.Adams/View представлено на рисунке 11. Разработанная математическая модель достаточно адекватно описывает поведение клубней при калибровании на исследуемом устройстве. Максимальная относительная погрешность двух расчетов не превышает 9%.

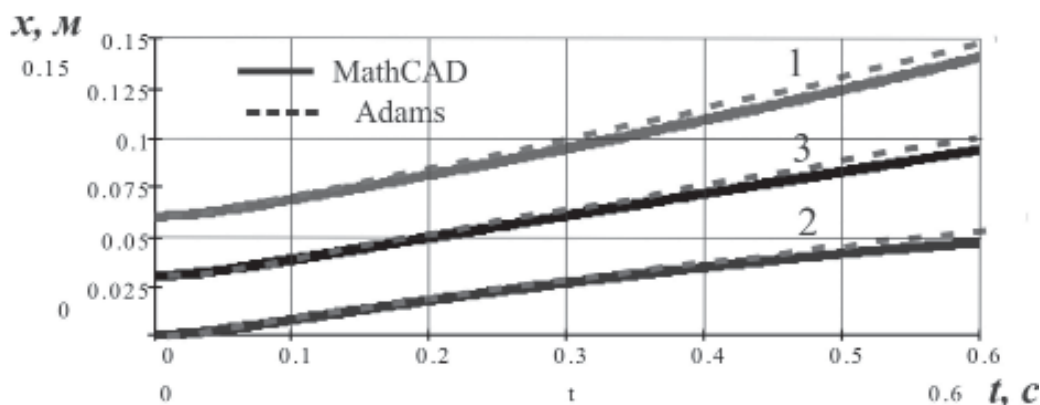


Рисунок 11 – Сопоставление результатов математической модели и модели в пакете Adams/View при расчете графиков движения первого (кривая 1), второго (кривая 2) и третьего (кривая 3) шаров вдоль оси X (угол наклона поверхности $\alpha = 20^\circ$, скорость ремня $V = 0,3$ м/с)

В результате экспериментальных исследований взаимодействия трех клубней на ленточном сортирующем устройстве получены зависимости координат клубней от времени при различных относительных скоростях ремня, по которым можно судить о характере движения клубней при их калибровании.

«Несовершенство» формы реальных клубней приводит к тому, что в результате их взаимодействия при калибровании на экспериментальной установке происходит разрыв контакта между клубнями. В результате этого третий (малый) клубень начинает «подпрыгивать» на двух больших, тем самым оказывая импульсное воздействие на большие клубни, которое является более эффективным, так как уже имеет динамический характер. Поэтому в действительности расстояние между большими клубнями увеличивается несколько

быстрее, чем было рассчитано с помощью математической модели (рисунок 12 а).

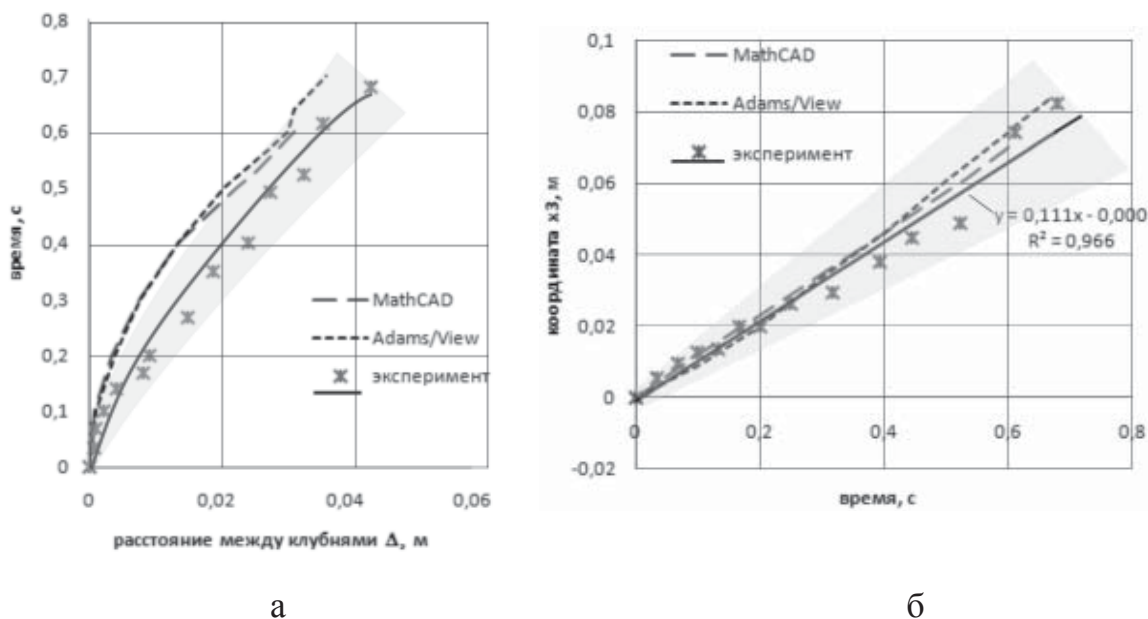


Рисунок 12 – Сопоставление результатов эксперимента и теоретических расчетов (угол наклона поверхности $\alpha = 20^\circ$, скорость ремня $V = 0,35$ м/с):
 а – изменение расстояния между большими клубнями (Δ) с течением времени; б – зависимость от времени положения (вдоль транспортера) третьего клубня (x_3)

Однако, в отличие от математической модели, малый клубень в этот момент времени может оказаться не на одной линии с большими клубнями, а несколько выше, и ему необходимо еще некоторое время, чтобы скатиться вниз. На рисунке 13 представлены экспериментально полученные зависимости, демонстрирующие влияние относительной скорости ремня на время образования зазора, достаточное для прохождения третьего клубня, и на время, необходимое, чтобы третий клубень занял это пространство, т.е. оказался между двумя большими. Для скоростей ремня $0,25 \dots 0,8$ м/с время отделения клубней, рассчитанное математической моделью, укладывается в диапазон времени $0,4 \dots 0,7$ с, полученный экспериментально. Относительная скорость ремня, при которой калибрование происходит быстрее, лежит в диапазоне $0,3 \dots 0,6$ м/с.

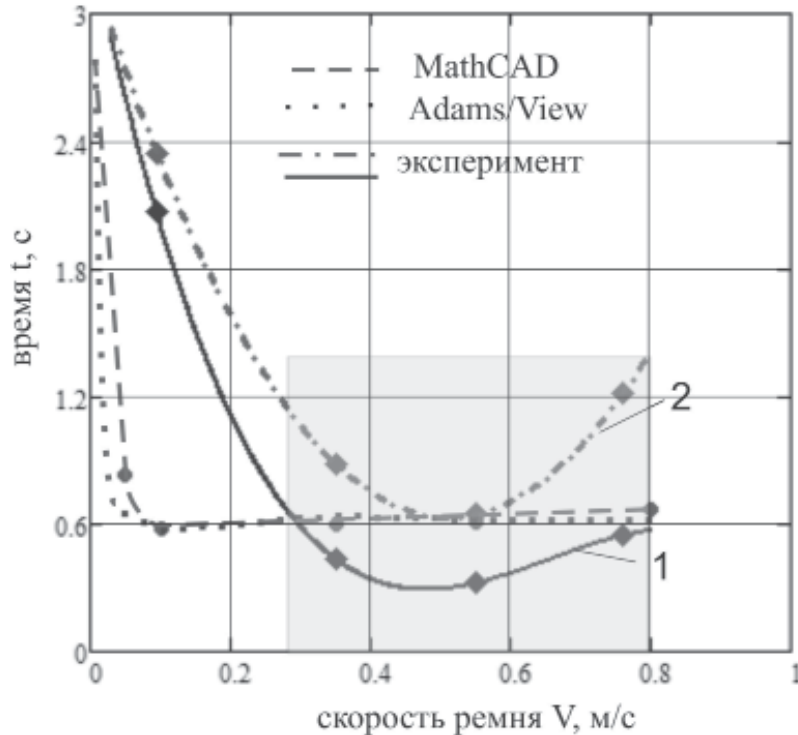


Рисунок 13 – Изменение времени, необходимого для образования зазора, достаточного для прохождения малого клубня (график 1), и времени, необходимого для разделения клубней (график 2) от различных относительных скоростей ремня V

О длине пробега системы клубней до разделения можно судить по зависимости от времени положения третьего клубня вдоль транспортера (рисунок 12 б). Длина пробега системы клубней до полного разделения для относительных скоростей ремня 0,3...0,6 м/с находится в диапазоне 0,03...0,08 м. На основе этих данных были выработаны рекомендации по длине рабочей части нижнего транспортера.

Экспериментальные исследования влияния угла наклона нижнего транспортера на процесс калибровки клубней на ленточном сортирующем устройстве показали, что при углах наклона свыше 20° происходит расклинивание ремней клубнями, и процесс калибровки нарушается.

Действительный коэффициент точности сортирования данного устройства составил 75...80%, что на 10...15% больше, чем у известных устройств ременного типа (68%), и не уступает точности барабанных и роликовых калибраторов (75%). Удельная производительность устройства – $1,00 \pm 0,25$ т/(ч·м).

Построенные для определения характеристик жесткости и прочности мякоти клубня диаграммы деформирования представлены на рисунке 14.

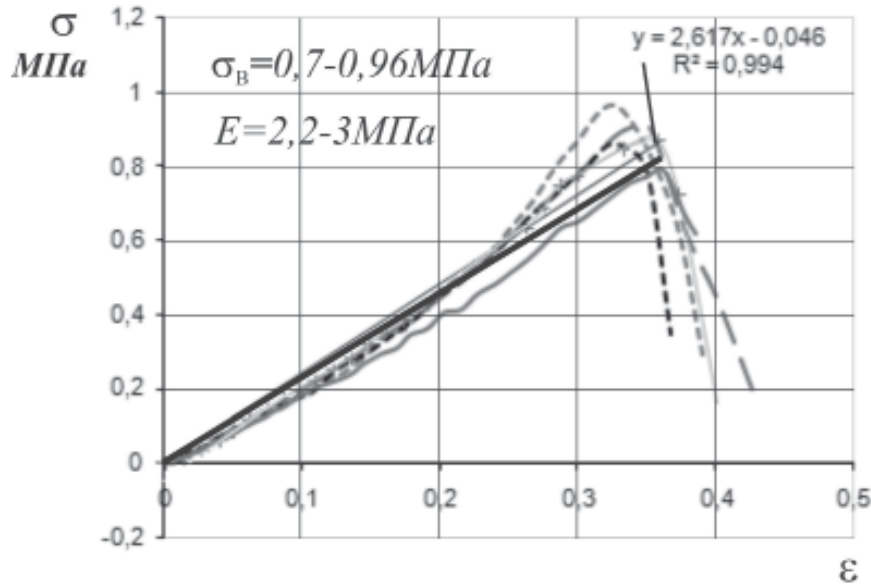


Рисунок 14 – Диаграммы деформирования нескольких образцов

В результате проведенных испытаний, после статистической обработки, для дальнейших расчетов можно принять для мякоти клубней картофеля сорта Невский: модуль упругости – $E = 2,60 \pm 0,15$ МПа, предел прочности – $\sigma_g = 0,83 \pm 0,04$ МПа. На основе полученных характеристик были определены напряжения при описанных выше случаях удара и рассчитаны допустимые высоты падения клубней и скорости их соударения.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих устройств для калибрования картофеля показал, что наиболее приемлемыми для калибрования семенных клубней являются устройства с ременными рабочими органами, так как они, в отличие от других устройств, практически не повреждают клубни. Недостатком, сдерживающим широкое применение данных устройств, является сравнительно невысокая точность калибрования, что обусловлено несоответствием их технологических и конструктивных параметров требованиям процесса.

2. Разработана математическая модель, которая описывает процесс движения и взаимодействия клубней при калибровании их ленточным сортирующим устройством и позволяет исследовать влияние режима работы и конструктивных параметров данного устройства на процесс калибрования картофеля.

3. Использование математической модели процесса движения и взаимодействия клубней на ленточном сортирующем устройстве позволило установить, что наиболее качественно процесс калибрования осуществляется при относительной скорости ремней $V = 0,3 \dots 0,6$ м/с и угле наклона нижнего транспортера $\alpha = 30 \dots 60^\circ$.

4. Установлено, что при соударении двух клубней наиболее опасными, с точки зрения повреждаемости, являются соударения двух клубней одинакового радиуса при их перекатывании по калибрующей поверхности и падение клубня на клубень меньшего радиуса, лежащий в бункере приема. При падении клубня на ровную поверхность контактное давление, а следовательно, напряжения в мякоти не зависят от размеров и массы клубня, а зависят от его плотности.

5. Установлено, что использование пакета Adams/View для моделирования процесса движения и взаимодействия клубней на поверхности ленточного сортирующего устройства позволяет проверить адекватность математической модели реальному процессу калибрования клубней картофеля данным устройством и визуализировать процесс калибрования клубней. Расхождение расчетов двух методов не превышает 9%.

6. Экспериментальными исследованиями установлены следующие рациональные параметры работы ленточного сортирующего устройства: относительная скорость ремней – $0,3 \dots 0,6$ м/с; угол наклона нижнего транспортера – $15 \dots 20^\circ$ (при увеличении угла наклона происходит расклинивание ремней клубнями); при рекомендуемых относительных скоростях ремней и скорости нижнего транспортера $0,15$ м/с, длина его рабочей части (от начала подачи до бункеров приема крупной и средней фракций) должна быть не менее одного метра.

7. Установлены физико-механические характеристики картофеля сорта Невский (после зимнего хранения): модуль упругости –

$E = 2,60 \pm 0,15$ МПа, предел прочности – $\sigma_b = 0,83 \pm 0,04$ МПа. На основе этого для данного сорта рассчитаны допустимые скорости соударения и высоты падения клубней, не вызывающие внутренних повреждений мякоти: скорость соударения двух клубней одинакового радиуса при перекачивании – 3,8...5,0 м/с; высота падения клубня на деревянную и стальную поверхность – 0,18...0,33 м; высота падения клубня на клубень одинакового с ним радиуса, лежащий в бункере приема (несвободный клубень), – 0,37...0,66 м.

8. Лабораторные и производственные испытания показали, что процесс калибрования картофеля ленточным сортирующим устройством с предложенными технологическими и конструктивными параметрами позволит повысить точность калибрования на 10...15% и уменьшить повреждаемость клубней.

9. Калибрование клубней картофеля ленточным сортирующим устройством, при его производительности $1,00 \pm 0,25$ т/(ч·м), позволяет получить годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат и уменьшения повреждения клубней в размере 32 670 рублей (в ценах 2010 года) при годовой загрузке устройства 250 тонн.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Саврасова, Н. Р. Анализ контактного динамического взаимодействия клубня картофеля с поверхностью [Текст] / Н. Р. Саврасова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12 (33). – № 1 (2). – С. 493–498.

2. Саврасова, Н. Р. Математическое моделирование движения и взаимодействия клубней картофеля на поверхности ленточного сортирующего устройства [Текст] / А. М. Плаксин, Н. Р. Саврасова // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 12. – С. 122–127.

Публикации в других изданиях

1. Саврасова, Н. Р. Дифференциальные уравнения движения клубня картофеля, имеющего две точки опоры относительно ленточного

транспортера [Текст] / О. В. Гордеев, Н. Р. Саврасова // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. – 2005. – Т. 46. – С. 61–64.

2. Саврасова, Н. Р. Дифференциальные уравнения движения клубня картофеля, имеющего две точки опоры относительно ленточного транспортера устройства для отделения крупных клубней картофеля [Текст] / О. В. Гордеев, Н. Р. Саврасова // Селекция, семеноводство и технология плодово-ягодных культур и картофеля : сб. науч. тр. к 75-летию ин-та / ГНУ «Южно-Уральский НИИ плодовоовощеводства и картофелеводства». – Челябинск, 2006. – Т. VIII. – С. 222–229.

3. Саврасова, Н. Р. Математическая модель движения шарообразных тел вдоль сепарирующей ленты транспортера [Текст] / Н. Р. Саврасова // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. – 2008. – Т. 53. – С. 100–115.

4. Саврасова, Н. Р. Виртуальное моделирование движения клубня картофеля на ленточном транспортере сортирующего устройства [Текст] / Н. Р. Саврасова // Материалы XLVIII международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» / ЧГАУ. – Челябинск : ЧГАУ, 2009. – Ч. 3. – С. 38–43.

5. Саврасова, Н. Р. Моделирование движения системы трех тел сферической формы с использованием современных компьютерных методов [Текст] / Н. Р. Саврасова // Экономика и производство : сб. науч. тр. / РАЕН региональное отделение ; Челябинский ЦНТИ. – Челябинск : ЧРО РАЕН, 2009. – С. 137–152.

6. Саврасова, Н. Р. Математическая модель процесса сепарации шарообразных тел [Текст] / Н. Р. Саврасова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Спец. вып. : Актуальные проблемы машиностроения. – 2009. – С. 229–234.

7. Саврасова, Н. Р. Математическое и имитационное моделирование в пакете ADAMS процесса сепарации шарообразных тел [Текст] / Н. Р. Саврасова // Проблемы механики современных машин : материалы четвертой международной конф. / Восточно-Сибирский гос. технол. ун-т. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2009. – Т. 3. – С. 122–125.

8. Саврасова, Н. Р. Основные принципы сортирования клубней картофеля : состояние вопроса и постановка задачи [Текст] / Н. Р. Саврасова // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. – 2009. – Т. 54. – С. 87–98.

9. Саврасова, Н. Р. Ресурсный потенциал земледелия и пути его эффективной реализации [Текст] / А. М. Плаксин, А. П. Зырянов, М. В. Пятаев,

Н. Р. Саврасова // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 10. – С. 54–56.

10. Пат. 2296628 Российская Федерация, МПК В 07 В 1/10, В 07 В 13/04. Устройство для сортирования предметов округлой формы [Текст] / О. В. Гордеев, В. В. Бледных, В. А. Жилкин, Н. Р. Саврасова; патентообладатель ФГОУ ВПО «Челябинский государственный агроинженерный ун-т». – № 2005133527/03 ; заявл. 31.10.2005 ; опубл. 10.04.2007, Бюл. № 10.

Подписано в печать 14.03.2011 г. Формат 60x84/16.
Гарнитура Times. Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ №

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Челябинская государственная агроинженерная академия»
454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 75