## Общая характеристика работы

Прошло более десяти лет после так называемого реформирования сельского хозяйства.

Анализ материалов выборочного обследования свидетельствует о том, что, несмотря на ряд негативных факторов, сопровождающих предпринимательскую деятельность, развитие различных форм малого предпринимательства на селе, включая крестьянские фермерские хозяйства, активизируется

Актуальные темы.

Картофель в настоящее время и на перспективу будет одной из основных культур, возделываемых в России на продовольственные и технические цели.

В настоящее время существует значительное количество крестьянских и фермерских хозяйств с объёмами производства картофеля 30…500 тонн.

Основная проблема производства этой культуры сравнительно низкая экономическая эффективность, связанная с большими трудозатратами и порчей продукции.

Использование комплексных технологических линий высокой производительности, типа КСП-15В и КСП-25 не всегда может нужный результат и обеспечить эффективное применение в различных производственных условиях.

На всех этапах развития конструкций машин для послеуборочной доработки вороха корнеклубнеплодов в центре внимания всегда стоял вопрос дальнейшего и эффективного улучшения работы сепарирующе-калибрующих рабочих органов, которые должны отсеивать и отделить от клубней картофеля не менее 33% различных примесей при точности разделения на фракции не ниже 30% и общем количестве повреждённого картофеля не более 3% исходного объёма. Не смотря на то, что и в нашей стране и за рубежом созданы работоспособные картофелесортировальные комплексы и линии, тем не менее проблему сепарации примесей и калибрования картофеля на фракции нельзя считать окончательно решённой. Это прежде всего объясняется тем, что поступающий после уборки ворох картофеля в конкретных условиях производства может содержать до 60% почвенных и растительных примесей с влажностью до 30% и обязательно состав клубней разной массы. Как показывают результаты исследований, качество обработки вороха картофеля на отечественном оборудовании КСП-25 и КСП-15В в конкретных условиях хозяйств не соответствует предъявляемым требованиям.

При влажности вороха более 20% и засорённости примесями до 40% происходит налипание почвы и забивание рабочей поверхности дискового сепаратора, уменьшение размеров калибрующих отверстий и защемление клубней роликами.

Отделители с электронными устройствами ещё не нашли широкого применения в условиях крестьянских и фермерских хозяйств, так как они дороги, сложны по конструкции, небезопасны, требуют высококвалифицированного обслуживания, не надёжны в работе, несмотря на то, что они теоретически способны полностью разделить ворох корнеклубнеплодов.

Различные способы и соответствующие технические решения, направленные на улучшение сепарации примесей и калибрования картофеля, приведёт к усложнению конструкции, увеличению количества технологических операций и к увеличению повреждения клубней картофеля вследствие увеличения времени контакта клубней с рабочей поверхностью.

Настоящая работа направлена на устранение вышеуказанных недостатков и улучшение эффективности процесса сепарации примесей и калибрования картофеля на фракции с использованием вибрационного воздействия.

Цель работы.

Целью работы является повышение точности калибрования картофеля при снижение повреждения клубней и материало-энергоемкости устройства путём определения рациональных параметров, вибрации роторно-пальцевой калибрующей поверхности.

## Объекты и место исследований

Объектом исследований является:

- физико-механические свойства клубней картофеля;

- процесс сортирования клубней вибрационной роторно-пальцевой поверхностью;

- универсальный сепарирующе-калибрующий модуль с вибрирующей роторно-пальцевой поверхностью.

Исследования проводились в картофелехранилищах колхоза «Маяк» Перемышльского района Калужской области.

Предмет исследований.

Параметры и режимы работы экспериментального сепарирующе-калибрующего модуля влияющие на точность калибрования клубней.

Методы исследований.

Теоретические исследования проводились с использованием законов и методов классической механики и математики. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с действующими стандартами в лабораторных и полевых условиях.

Научная новизна работы составляют:

- зависимости динамики взаимодействия роторов с клубнями картофеля от параметров вибрации;

- аналитические зависимости влияния основных параметров виброротационной поверхности на качество калибрования клубней;

- математическая модель рабочего процесса в виде уравнения регрессии, связывающая точность калибрования клубней с определяющими факторами процесса.

Практическая ценность. По результатам исследований разработан новый сепарирующее-калибрующий модуль с вибрирующей роторно-пальцевой поверхностью, позволяющий существенно улучшить качество разделения картофеля на фракции и уменьшить повреждения клубней. Новый виброротационный сепарирующе-калибрующий модуль имеет существенные преимущества по сравнению с широко применяющимися в настоящее время в картофелесортировальных пунктах и линиях роликовыми и дисковыми рабочими поверхности. Кроме технологических преимуществ виброротационный сепарирующее-калибрующий модуль позволяет улучшить конструктивные параметры картофелесортировочных машин за счёт уменьшения габаритных размеров и сокращения времени взаимодействия клубней с рабочими органами. Обоснована экономическая эффективность нового вибро-ротационного сепарирующе-калибрующего модуля.

Методика теоретических исследований и обоснования параметров виброротационного сепарирующе-калибрующего рабочего модуля может быть использована и в других сельхозмашинах (картофелекопателях, машин для послеуборочной доработки моркови и свеклы (столовых корнеплодов).

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на региональной научно-технической конференции (Калуга 2002), РНТК (Калуга 2003), Прогрессивные технологии конструкции и системы в приборо-и машиностроении (Москва 2004), РНТК (2003 Брянск).

## Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, указана цель настоящей работы, изложены основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» дается обзор способов и конструкций существующих машин для сепарации примесей и калибрования картофеля, выявлены их преимущества и недостатки, дана классификация рабочих органов ротационного типа. В результате анализа конструкций и процессов существующих картофелесортировальных машин (роликовые, вальцевые и дисковые) выявлено, что обладая простотой конструкции и высокой удельной производительностью они не обеспечивают существенного снижения повреждений картофеля вследствие интенсивного динамического взаимодействия клубней с рабочими органами.

Вопросам сепарации почвы и калиброванию картофеля на картофелесортировальных машинах посвящены работы В.П. Горячкина, Н.Н. Колчина, Н.И. Верещагина, А.А. Сорокина, П.М. Власенко и других ученых. На преимущества ротационных и кулачковых сепараторов при работе на тяжелых суглинистых почвах повышенной влажности указывают исследования Я.И. Верменка, Б.П. Шабельника, Н.В. Шабурова, И.Н. Скурыгина, С.С. Остроумова.

В результате анализа установлено, что для повышения эффективности процесса калибрования клубней, сепарации почвы и снижения повреждений картофеля одним из перспективных направлений является применение вибрирующих роторно-пальцевых рабочих органов, обеспечивающих более быстрое направленное ориентирование клубней в калибрующие отверстия при отсутствии повреждений. В связи с вышесказанным необходимо исследовать и обосновать параметры и режимы работы вибрирующей роторно-пальцевой сепарирующе-калибрующей поверхности.

Основные задачи исследований:

1. Исследовать перемещение и ориентацию клубней картофеля при сложном виброкинематическом режиме взаимодействия с роторно-пальцевой поверхностью.

2. Провести анализ конструкций и процессов сепарирующе-калибрующих устройств.

3. Обосновать параметры конструкции универсальной вибрационной роторно-пальцевой поверхности.

4. Провести теоретические исследования по определению взаимодействия и направленному ориентированию клубней картофеля при вращения и вибрации роторов.

5. Исследовать режимы виброкинематики роторов в лабораторных условиях.

6. Изготовить экспериментальный образец вибро-ротационной сортировки.

7. Провести экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях.

8. Определить эксплуатационные показатели и экономическую эффективность устройства.

Во второй главе «Теоретические исследования по обоснованию основных параметров вибро-ротационного сепарирующе-калибрующего устройства» представлена конструктивно-технологическая схема картофелесортировки с вибрационной роторно-пальцевой поверхностью (рис.1).



Рис.1. Конструктивно-технологическая

схема картофелесортировального модуля:

А, Б - участки калибрования; 1 – ковш; 2, 6 – транспортеры; 3, 4 – роторы; 5 – сборники; 7 – контейнеры

Комбинированная рабочая поверхность ротационного типа представляет собой набор параллельных валов, на которых в шахматном порядке с перекрытием установлены пальцевые роторы соседних рядов. Унифицированная роторно-пальцевая поверхность, установленная на общей раме, позволит из нескольких рядов роторов образовывать отдельные участки: 1-й сепарации просеивающихся примесей, II-ой выделения мелких нестандартных клубней весом до 25г, III-й калибрования мелкой фракции 25-50г, IV-й средней 50-80г и V-й крупной, более 80г.

Технологическая схема работы устройства с комбинированной рабочей поверхностью следующая: посредством загрузочного транспортера ворох картофеля подается на участок сепарации для выделения просеивающихся примесей, далее путем непосредственного перехода ворох поступает на участок выделения фуража (клубней массой до 25г) и аналогичным образом на участки калибрования мелкой и средней фракций. Отсепарированные примеси и выделенные в определенную фракцию клубни, посредством выгрузных транспортеров выносятся за пределы рабочей поверхности для затаривания в емкости.

Исследования процесса разделения картофеля на фракции указывают на целесообразность поперечных колебаний ротационной сортирующей поверхности для сокращения времени ориентации клубней относительно калибрующих отверстий. Поперечные колебания приведут к направленному ориентированию клубней в том случае, если амплитуда и частота колебаний роторов не приведут к перебрасыванию клубней в поперечном направлении на соседние роторы относительно продольного перемещения. То есть перемещение клубня должно осуществляться в пределах калибрующего отверстия, расположенного между вибрирующими роторами. Таким образом, что бы при минимальном смещении центра масс клубня происходил его ограниченный поворот для ускорения процесса ориентации.

При вибрации роторов удар по клубню не является центральным. Во время удара действующий на клубень импульс имеет как нормальную составляющую так и касательную. Вследствие того, что центр тяжести О не совпадает с точкой приложения импульса S, клубень получает и вращательное движение. В момент начала контакта клубня с ротором нормальная составляющая импульса вызывает момент относительно центра тяжести клубня больший, чем момент сил инерции, и поэтому клубень получая последовательные микроудары от вибрирующего ротора переходит в положение, показанное на рис.4.

Ориентирование можно рассматривать как процесс приведения клубней из любого положения в направленное длинной осью эллипсоида вдоль калибрующего отверстия. Процесс этот характеризуется рядом количественных и качественных показателей, в зависимости от которых определяются этапы ориентирования клубней, т.е. количеством переходов из одного устойчивого положения в другое до совпадения с продольным, а также средствами и способами ориентирования клубней.

Тело в зависимости от его формы и положения на ориентирующей поверхности может занимать устойчивое, неустойчивое и хаотичное положение.

Вывести тело из устойчивого или неустойчивого положения можно, приложив к нему дополнительно активную силу или момент в том числе за счет вибрации роторов.

В этой связи энергетически устойчивое положение клубня на ориентирующих поверхностях характеризуется работой всех внешних сил, направленных на вывод клубня из занимаемого положения, причём работа внешних сил меньше приращения запаса потенциальной энергии клубня, которое он получает при выходе из заданного положения, т.е.

,



где А - работа всех внешних сил, направленная на вывод клубня из занимаемого положения;

dW - приращение потенциальной энергии клубня в пределах от W0 до Wi.

Активными могут быть силы тяжести, силы взаимодействия соприкасающихся клубней, силы воздействия ориентирующих органов, силы сопротивления, силы инерции и т.п.

Для теоретического анализа влияния вибрации роторов на клубни картофеля использована расчетная схема, представленная на рис.2.

Угол поворота клубня за i-й период колебания сортировки можно определить по формуле

, (1)



где - угол поворота в начале i-го периода колебаний;



f – коэффициент трения;

N0 – постоянная, учитывающая силу молекулярного притяжения двух тел;

J – момент инерции;

е – величина несовпадения центра масс тела и геометрического центра;

τв – общее время скольжения вперёд;

τн – общее время скольжения назад.



Рис.2. Силы, действующие на клубень при вибрации роторов в поперечном направлении.

Дифференциальные уравнения относительного движения клубня в осях XOY, связанных с вибрирующей поверхностью имеют вид

(2),



(3),



где m – масса клубня;

А и ω - соответственно амплитуда и частота колебаний поверхности;

g – ускорение свободного падения;

N1 – нормальная реакция в первой точке соприкосновения;

F – сила сопротивления движению клубня, которую будем считать силой сухого (кулонова) трения.

При нахождении клубня на вибрирующей поверхности (y ≡ 0)

(4),



где f – коэффициент трения скольжения, а нормальная реакция определяется из (3):

(5)



Клубень может находиться на вибрирующей поверхности без отрыва от нее (без подбрасывания), если , т.е.



(6)



При выполнения условия (6), что клубни не перебрасываются из зоны вибрационного действия роторов, возникает необходимость анализа вероятности ориентирования клубней при действии вибрации. Для проведения анализа принудительного ориентирования клубней исследуем схему действия сил и моментов на клубень при взаимодействии с ротором.



Рис.3 Схема сил, действующих на клубень (вид сверху)

На основании теоремы о приведении плоской системы сил к данному центру, силу I приложенную в точке опоры О и моментом Му, вращающим ось OY против часовой стрелки в плоскости YOZ представим в виде:



(7)



где r – высота клубня.

Таким образом, на клубень действует некоторый момент стремящийся развернуть ось его вращения в пространстве. На основании вышесказанного момент Му вызывает возникновение другого момента Мх. стремящегося развернуть клубень в плоскости, перпендикулярной действию первого момента



(8)



где - момент инерции клубня относительно оси z1; ω – угловая скорость клубня вокруг оси z; - угловая скорость оси z вокруг центра масс клубня.



Очевидно, что в точке пересечения продолжений линий действия сил реакций находится мгновенный центр вращения клубня. Составим уравнение момента количества движения относительно мгновенного центра О1 и, взяв за параметр, определяющий вращение клубня, угол α, получим

(9)



где - коэффициент трения качения.



Таким образом, получено дифференциальное уравнение вторoгo порядка (9). Решение данного уравнения при начальных условиях имеет вид



(10)



где top – время ориентирования.

Таким образом зависимости (6) и (10) позволяют провести исследование перемещения и ориентирования калибруемых клубней на виброротационной сортирующей поверхности. В качестве условия перемещения клубней по (6) принимается скользящее движение клубней без перебрасывания относительно роторов при их вибрации. Решение уравнения (10) позволяет определить время необходимое для ориентирования клубней относительно калибрующих отверстий. Время ориентирования клубней ограничивается периодом пребывания их в пределах одного ряда калибрующих роторов.

Прямолинейные гармонические колебания без подбрасывания с двусторонним движением и мгновенными остановками, дают хорошие результаты для разделения клубней по ширине или толщине с помощью рабочих поверхностей, имеющих круглые или прямоугольные отверстия. Непрерывный контакт с сепарирующе-калибрующей поверхностью и отсутствие интервалов относительного покоя увеличивает вероятность просеивания клубней из нижнего слоя и уменьшает динамические нагрузки на рабочую поверхность, характерные для интенсивного подбрасывания. Просеивание отдельного клубня при его движении над калибрующим отверстием - явление случайное, вероятность которого для безотрывного движения подчиняется нормальному закону [6, 12] (11) где - скорость центра масс клубня относительно рабочей поверхности; - критическое значение скорости при р0 = 1/2.



Для сферического клубня диаметром d при равномерном движении над прямоугольным отверстием длиной D в горизонтальной плоскости

(12)



где R - коэффициент восстановления нормальной скорости тела при ударе о кромку отверстия.

При движении клубня с подбрасыванием вероятность просеивания существенно уменьшается вследствие уменьшения времени контакта с калибрующей поверхностью. Это происходит не только от увеличения нормальной составляющей ускорения рабочей поверхности и нарушения условия безотрывного движения, но и вследствие отражения клубня вверх при ударе о кромку калибрующего отверстия. Последнее наблюдается при движении тонкого слоя. Увеличение толщины вороха до некоторого оптимального значения Н\* увеличивает вероятность просеивания, так как верхние слои, не испытывая непосредственно ударов, препятствуют отрыву от калибрующей поверхности клубней нижнего слоя. При Н > Н\* подбрасывания по этой причине не происходит, но избыточное давление верхних слоев увеличивает трение между компонентами нижнего слоя, что затрудняет просеивание последних. Удельная производительность сепарирующе–калибрующей поверхности по проходу q, кг/(м2-с), пропорциональна числу клубней, прошедших над калибрующими отверстиями за 1 с и вероятности ра их просеивания:

(13)



где с - коэффициент пропорциональности, зависящий от «живого» сечения поверхности, концентрации проходового компонента в нижнем слое, плотности и других свойств вороха.

Вблизи значения с увеличением возрастает число клубней, проходящих над отверстием в единицу времени, при незначительно убывающей вероятности Р; при дальнейшем увеличении и решающее влияние на q оказывает существенное уменьшение Р.



Для просеивания клубней, близких по форме к сферическим, оптимальными колебаниями сепарирующе–калибрующей поверхности являются круговые поступательные в горизонтальной плоскости, так как они позволяют обеспечить почти постоянное значение относительной скорости нижнего слоя, близкое к оптимальному. При прямолинейных колебаниях относительная скорость изменяется непрерывно периодически, и ее оптимальное значение .



Если форма клубней удлиненная, то более эффективными могут быть прямолинейные колебания, обеспечивающие определенную ориентацию клубней относительно калибрующего отверстия.

Относительное движение с подбрасыванием оказывается эффективнее безотрывного движения для сильно удлиненных тел в случае разделения по ширине при круглых отверстиях и для плоских тел в случае разделения по толщине при прямоугольных удлиненных отверстиях.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований представлена программа и методика экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях.

В результате теоретических исследований выбрана общая схема устройства, определены конструктивные и кинематические параметры виброротационной сепарирующе-калибрующей рабочей поверхности. Для проверки теоретических предпосылок процессов сепарации примесей, калибрования клубней и обоснования параметров и режимов работы комбинированной поверхности виброротационного типа, проведены лабораторные и производственные экспериментальные исследования. Экспериментальные исследования выполняли по разработанной программе, которая предусматривала изучение и определение наиболее важных факторов и их значений, которые определяют работоспособность устройства.

1. Программой лабораторно-полевых исследований предусматривалось следующее:

- Разработать конструкторскую документацию и изготовить экспериментальный образец устройства с комбинированной виброротационной сепарирующе-калибрующей рабочей поверхностью.

- Исследовать взаимодействие виброротационных рабочих органов с клубнями в процессе сепарации примесей и калибрования на фракции.

- Определить показатели качества сепарации примесей, обосновать рациональные параметры и режимы работы виброротационного сепаратора.

- Определить размерно-массовые и статистические характеристики используемого в опыте вороха картофеля.

- Исследовать процесс направленного ориентирования калибруемых клубней в отверстия при вибрации роторов.

- Изучить влияние основных факторов на процесс калибрования клубней, выявить рациональные параметры вибрации.

- Определить энергетические показатели работы устройства с комбинированной поверхностью виброротационного типа.

Программой экспериментальных исследований в производственных условиях предусмотрено:

- Определение эффективности и качества сепарации примесей и калибрования клубней на фракции в зависимости от подачи, состава вороха и влажности примесей.

- Исследование согласованности функционирования участков сепарирующе-калибрующей поверхности.

- Определение эксплуатационных характеристик экспериментального устройства и анализ повреждаемости клубней.

Лабораторные исследования комбинированной рабочей поверхности для выделения примесей, калибрования картофеля планировали провести в последовательности выполнения технологических операций. На первом этапе исследовать работоспособность сепарирующей поверхности, на втором участка калибрования совместно с сепаратором, так как участок сепарации предназначен для выделения примесей, а также равномерной подачи клубней на поверхность калибрования.

С целью исследования процесса сепарации примесей при безотрывном перемещении вороха, планировали выполнить полнофакторный эксперимент для определения полноты просеивания примесей. Опыты проводили в следующем порядке: при установленном режиме подачи вороха изменяли частоту и амплитуду вибрации роторов и определяли полноту сепарации, затем устанавливали другое значение подачи и в прежнем порядке проводили опыты. Значения подач обрабатываемой массы принимали равные (2,2 кг/c; 2,8 кг/c; 3,6 кг/c); угловой скорости вращения роторов 6,1 рад/c.

Виброротационная калибрующая рабочая поверхность применяется впервые, поэтому изучение процесса разделения клубней на фракции виброротационным устройством требует исследования влияния нескольких факторов, в связи с чем опыты проводились в два этапа.

На первом этапе проводились исследования по оптимизации параметра вибрации роторов для направленного разворота и ориентирования калибруемых клубней в отверстия. С этой целью произвели видеозапись траектории поворота клубней с момента подъема роторами до расположения их над калибрующим отверстием, при вибрации роторов с амплитудой - 1; 2; 3 мм и изменении частоты колебаний - 5; 10; 15 Гц.

Необходимость проведения данного опыта обусловлена тем, что процесс ориентированного разворота клубней при массовом перемещении вороха по вибрирующей роторной поверхности может отличаться от определенного теоретически, вследствие взаимодействия движущегося картофеля между собой.

Оценку качества работы машин для калибрования картофеля производят по производительности, степени повреждения клубней и коэффициенту точности калибрования. /43,99/.

Значение производительности комбинированной поверхности определили по формуле:

(14)



где, - масса картофеля в первом, втором и дополнительных контейнерах, кг; - время работы, мин.



. Расчет степени повреждений выполняли по формуле:

(15)



где, - относительное количество поврежденных клубней,%;



- количество поврежденных клубней;



- количество клубней в пробе.



Коэффициент точности калибрования клубней каждой фракции определили по формуле:

, (16)



где - масса клубней, выделенных в данную фракцию, и отвечающих ее требованиям; - общая масса клубней, выделенных в данную фракцию.



Сравнительные исследования калибрующих поверхностей разных конструкций /43,60,68,98/ показывают, что рабочие органы активного действия (ролики, диски, пружины) обладают большей удельной производительностью калибрования, чем устройства транспортерного типа и других конструкций.

По данным Шабурова Н.В., Лебедева Л.Я., Остроумова С.С., величина повреждений, наносимых роторно-пальцевыми рабочими поверхностями клубням при обработке картофельного вороха, значительно ниже чем роликовых, грохотов, металлических сеток и не превышает 3%. Учитывая предполагаемые преимущества вибрационного роторно-пальцевого калибрующего устройства в сравнении с другими, используем в качестве основного критерия оценки - точность калибрования клубней на фракции.

На следующем этапе было исследовано совместное влияние управляемых факторов, на основной оценочный критерий процесса калибрования, которым является точность разделения картофеля на фракции, методом факторного эксперимента. При планировании факторного эксперимента были проанализированы и учтены входные параметры оптимизируемого объекта, которые наиболее существенно влияют на процесс калибрования. Было учтено, что выбираемые факторы должны быть управляемыми, однозначными, совместимыми, независимыми и точность замеров уровней факторов должна быть выше точности

значений параметра оптимизации. Использование результатов теоретических исследований, предварительных экспериментов и данных исследований аналогичных устройств, позволили выбрать основные управляемые факторы для постановки факторного эксперимента в рациональной области.

В качестве наиболее значимых факторов были приняты следующие:

1. Подача вороха картофеля - q, кг/с;

2. Угловая скорость вращения роторов - w, рад/с;

3. Частота колебаний ротора - W, мм;

4. Амплитуда колебаний ротора - A, мм.

Для оптимизации параметров и режимов калибрующей поверхности реализовали план Бокса-Бенкина типа 34 в области близкой к стационарной в качестве критерия оценки приняли точность калибрования, определяемую по формуле:



|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Факторы | Единица  измерения | Кодовое  обозначение | Уровни кода и численные значения | | |
| Нижний-1 | Нулевой-0 | Верхний+1 |
| Подача, q |  |  | 2,8 | 3,4 | 4 |
| Угловая  cкорость, w |  |  | 5 | 6 | 7 |
| Амплитуда, А | мм |  | 2 | 3 | 4 |
| Частота, | Гц |  | 10 | 15 | 20 |

Уравнение регрессии будет иметь вид



## Общие выводы

1. В результате исследований выявлено, что вибрационные роторно-пальцевые рабочие органы обеспечивают эффективную сепарацию примесей и калибрование клубней в сложных почвенно-климатических условиях при удельной производительности 4,5…7 (кг /с) /м2 и снижении повреждений до 2%.

2. Придание вибрации роторно-пальцевой рабочей поверхности позволяет существенно повысить интенсивность процессов калибрования клубней за счет ускорения их ориентации в калибрующие отверстия и снижения сил внутреннего трения в слое.

3. На основании исследования динамики взаимодействия клубней с роторами установлена закономерность их перемещения по рабочей поверхности и определено, что угловая скорость роторов – 6 рад/с обеспечивает устойчивое перемещение клубней без подбрасывания и повреждений.

4. Амплитуда колебаний роторов – 3мм и частота 15 Гц позволяют снизить силы трения в слое и осуществить направленный поворот клубней при сокращении времени ориентации с 0,3 до 0,1с.