

МРНТИ 68.85.35
УДК 635-15

DOI

Д.Е. Джакуфов^{1}, А.К. Молдажанов¹, А.Т. Кулмахамбетова¹, А.А. Азизов¹*

*¹Казахский национальный аграрный исследовательский университет,
(г. Алматы, Республика Казахстан), jakufov.d@mail.ru**

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ СОРТИРОВКИ КАРТОФЕЛЯ

Аннотация

Предметом моей научно-исследовательской работы является параметры и режимы работы роторной машины для сортировки сельскохозяйственной продукции. Объектом исследования является технологический процесс сортирования картофеля роторно-винтовым устройством. Целью данной работы является обоснование параметров и режима работы сортировочной машины клубней картофеля роторно-винтового типа путём совершенствования сортировочного устройства роторного типа повышения удельной производительности и точности сортировки. Теоретические исследования базировались на методах математического и механического моделирования взаимодействия клубней картофеля с роторно-винтовым сортирующим устройством в процессе их движения. Экспериментальные исследования выполнены методом планирования многофакторных экспериментов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- обоснована конструктивно-технологическая схема роторно-винтовой машины сортирующей картофель;
- установлены аналитические зависимости, установлена связь между технологическими параметрами сортировочной машины и режимом функционирования подающего рабочего органа (ротора-питателя);
- получена математическая модель процесса сортирования по качественному параметру оптимизации (точность сортирования);
- определены оптимальные параметры и режимы работы роторно-винтовой сортировочной машины для картофеля, обеспечивающие рациональную точность сортирования при сравнительно короткой длине барабана и при снижении энергоёмкости процесса.

Содержащиеся в диссертации научные положения и выводы позволяют обосновать основные конструктивные параметры роторно-винтового сортирующего устройства для картофеля, которые могут быть использованы проектно-конструкторскими организациями.

Ключевые слова: картофель, фракция, технологический процесс, конструктивно-технологическая схема, сортирующий рабочий орган.

Введение. Производство картофеля в данный момент является одной из трудоёмких отраслей. Затраты труда с годами не значительно снижаются. Основная часть затрат приходится на уборку, послеуборочную обработку картофеля и подготовку семенного материала. Большие затраты связаны с тем, что в основном производят картофель мелкие сельскохозяйственные предприятия и хозяйства, в которых нет достаточного оборудования: картофелеуборочных комбайнов и сортировальных пунктов. А применяют в технологии картофелекопатели с последующей уборкой вручную. Применение в технологии уборки картофелеуборочных комбайнов существенно снижает затраты труда. Но при комбайновой уборке в картофельном ворохе содержатся больше почвенных примесей, растительных остатков и маточных клубней [1-3]. Поэтому возникает необходимость сортировать клубни

картофеля, чтобы они соответствовали требованиям ГОСТ [3-6]. Вопросы сортирования рассмотрены в следующих источниках [1, 7- 15].

Передвижные пункты, не обеспечивают высокое качество технологического процесса, так как у них отсутствуют переборочные столы, для удаления почвенных комков, маточных и поврежденных клубней, нет компенсаторов (бункеров) на выходе и входе, а также устройств подачи готовой продукции в транспортное средство. Поэтому наиболее целесообразно использовать стационарные пункты. Сортирование на стационарных пунктах позволяет отделить клубни от почвенных примесей, растительных остатков и поврежденных клубней, разделить их на фракции по размерному признаку, а также увязать работу транспортных средств с машинами непрерывного транспорта на СКСП. Отсортированные клубни картофеля по размеру и массе уменьшают потери при переработке, снижают удельные затраты из-за уменьшения отходов, повышают эффективность работы и выход продукции. Однородный семенной материал позволяет снизить пропуски картофелепосадочных машин и увеличить их производительность высаживающих аппаратов, обеспечить дружные всходы, своевременность ухода за посадками картофеля и высокую урожайность [9].

Для продовольственного картофеля один из главных показателей его товарности является отсутствие в нем мелких клубней. Кроме этого, отсутствие мелких клубней в картофелехранилище увеличивает скважность, что снижает затраты энергии на продувку насыпи картофеля, и сохранность клубней.

В соответствии с агротребованиями клубни семенного картофеля разделяют по ГОСТ 7001-91 [6]. К данной семенной фракции относятся клубни округло-овальной формы размером (по наибольшему поперечному диаметру) 30... 60 мм, удлиненной формы размером 28... 55 мм. По ГОСТ 26545-85 клубни разделяют на три фракции: 25...50 г - мелкие по массе, 50...80г - средние и более 80 г (до 120 г) - крупные. Механические повреждения клубней рабочими органами не должны превышать 5 % от количества картофеля в каждой фракции.

Однородность состава фракции характеризуется процентом клубней из смежных фракций. Для семенного картофеля в каждой группе должно быть не более трех процентов клубней из других фракций по счету (ГОСТ 7001-91), а для продовольственного - не более 10% по массе (ГОСТ 26545-85). Эти показатели определяются коэффициентом точности сортирования, достигаемым на применяемых установках.

Колчин Н.Н. выделяет следующие виды коэффициентов точности: теоретический и действительный [13]. При сортировании клубней картофеля на массовые фракции, путем сортирования по размерам, предполагаемое качество работы машины характеризуется теоретическим коэффициентом точности сортирования γ_t .

Теоретический коэффициент точности находят по размерно-массовым характеристикам клубней картофеля. Он определяет теоретически возможную точность сортирования данного сорта сельскохозяйственной культуры сортирования по заданному размерному признаку.

Кроме того, качество работы машины определяется еще двумя показателями: повреждаемостью сортируемого материала и производительностью.

Повреждаемость материала характеризуется числом и степенью повреждений, наносимых рабочими органами компонентам смеси. Для картофеля наличие небольшого числа легких повреждений допустимо, так как он имеет возможность «заживлять» свои раны в силу своей физиологии. На сегодняшнем уровне развития техники полного отсутствия повреждений достичь невозможно. Но недопустимо наносить клубням картофеля и другим сельскохозяйственным продуктам многочисленные ранения серьезного характера.

Производительность характеризуется подачей исходного материала или выходом готового продукта в единицу времени. Так как процесс сортирования сопровождается разделением на несколько фракций, то готовой продукцией считается суммарный объем

(масса) всех фракций. Суммарный выход всех фракций может быть и не равен подаче исходного вороха из-за содержащихся в нем примесей, которые стараются удалить.

Например, исходный ворох картофеля, поступающий на сортирование после уборки с поля, может содержать в себе до 50% примесей [2].

Методы и материалы. Сортирование клубней картофеля по размерным признакам.

Наибольшее практическое применение в сельскохозяйственном производстве нашел способ разделения клубней по их линейным размерам.

Клубень, как объект сортирования, характеризуется тремя линейными размерами - длиной a , шириной b и толщиной c . В зависимости от принятого линейного размера для процесса разделение вороха картофеля на фракции используются разнообразные устройства с отверстиями различной формы: при сортировании по толщине c используют щелевидные и продолговатые отверстия; по ширине b - круглые, по размеру $+ c$, близкому к среднему между шириной и толщиной, - квадратные; по длине - ячеистые поверхности (триеры) и щелевидные отверстия с толкателями [5;6].

Разработаны способы, с помощью которых можно измерять объем клубня, контролируя давление в полых рабочих органах, обжимающих обрабатываемый материал [2]. Разработаны также фотометрические и телевизионные устройства для определения объема клубня, соответствующего его линейного размера или нескольких размеров одновременно. Исследуя размерно-массовые характеристики клубней картофеля, установлено, что из трех размеров наибольшим разнообразием отличается длина и наименьшим - толщина клубней.

Известно, что на процесс сортирования оказывает значительное влияние форма клубня. Одной и той же массе соответствуют клубни с различными линейными размерами и различной формой, которая характеризуется соотношением трех линейных размеров и зависит от сорта картофеля и условий возделывания. Коэффициент формы клубней выражается формулой

$$k_{\phi} = a/\sqrt{b * c}$$

где a, b и c - соответственно, длина, ширина и толщина клубня, мм.

В работе рекомендуется классифицировать клубни картофеля по форме на 7 групп, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Формы клубней картофеля

Название формы	Коэффициент формы
Шаровидная	1,1
Округлая	1,11...1,20
Округло-овальная	1,21...1,30
Овальная	1,31...1,40
Удлиненно-овальная	1,41...1,50
Удлиненная	1,51...1,60
Максимально удлиненная	1,61 и более

Приведенная классификация упрощает представление о форме клубня и предусматривает использование оценочного показателя $K\phi$ в расчетах при разработке картофелесортировальных машин. Вместе с тем в ряде случаев возникает потребность характе-

ривать отдельный клубень или группу клубней каким-либо одним параметром. В качестве его принимается средний диаметр клубня

$$d_{\text{cp}} = \frac{a + b + c}{3}$$

или средне-кубическое значение

$$d_{\text{cp}} = \sqrt[3]{a * b * c}$$

Академик В.П. Горячкин, изучая вопросы сортирования картофеля, установил, что между массой m и толщиной клубня c существует зависимость, которая описывается следующим уравнением:

$$m = A * c^n$$

где m - масса клубня, г;

A, n - эмпирические коэффициенты.

Эмпирические коэффициенты варьируют в зависимости от формы, удельной массы и сорта картофеля. На рисунке 1 показана зависимость между размерами клубня и его массой.

Исследованиями доказано, что плотность распределения линейных размеров клубней a, b и c в зависимости от их массы подчиняется нормальному закону. На рисунке 2 представлены вариационные кривые плотности распределения толщины клубня по массе, описываемые плотностью нормального распределения.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{c})^2}{2\sigma^2}}$$

где σ - среднее квадратическое отклонение;

\bar{c} - средняя арифметическая величина, соответствующей фракции.

Размерные характеристики клубней соседних фракций перекрывают одна другую, т.е. при сортировании клубней по массе путем их сортирования по размеру примеси клубней одной фракции в другой неизбежны.

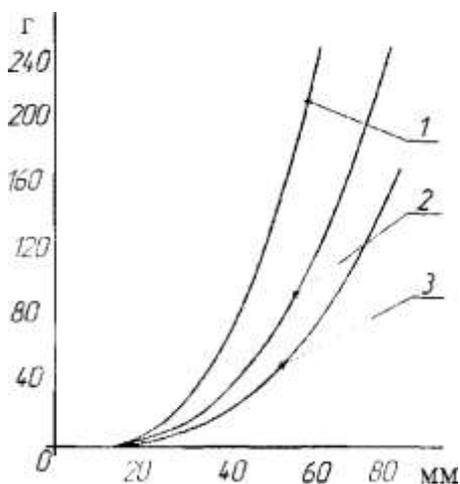


Рисунок 1 - Зависимость между размерами клубня и его массой:
1 - толщина; 2 - ширина; 3 - длина.

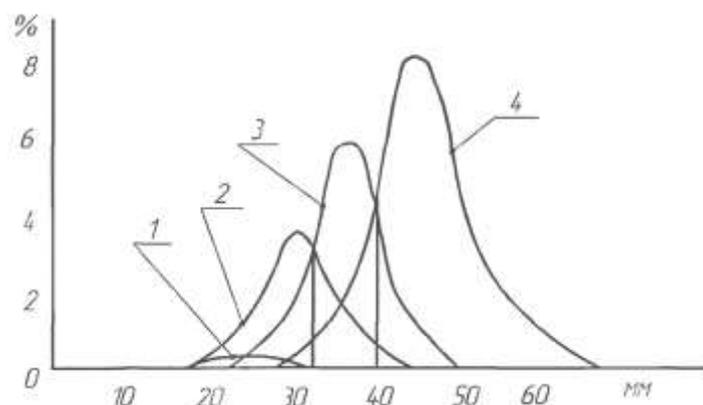


Рисунок 2 - Вариационная характеристика толщины клубня в зависимости от его массы:
1 - примеси, 2 - мелкие клубни, 3 - средние клубни, 4 — крупные клубни

Перекрытия являются следствием того, что масса и размеры отдельных клубней варьируются в широких пределах. Это и предопределяет точность сортирования. Размеры калибрующих отверстий можно определить без построения графиков - аналитическим путем, по следующим зависимостям:

- граница разделения крупной и средней фракции

$$c_{ск} = \frac{\left[-(c_k \sigma_c^2 - \sigma_c c_k^2) + \sigma_c \sigma_k \sqrt{(c_k - c_c)^2 + 2(\sigma_k^2 - \sigma_c^2) \ln \frac{\sigma_k K_c}{\sigma_c K_k}} \right]}{(\sigma_k^2 - \sigma_c^2)}$$

-граница разделения для средней и мелкой фракции

$$c_{мс} = \frac{\left[-(c_c \sigma_m^2 - \sigma_m c_c^2) + \sigma_m \sigma_c \sqrt{(c_c - c_m)^2 + 2(\sigma_c^2 - \sigma_m^2) \ln \frac{\sigma_c K_m}{\sigma_m K_c}} \right]}{(\sigma_c^2 - \sigma_m^2)}$$

где $\bar{c}_k, \bar{c}_c, \bar{c}_m$ - среднее арифметическое значение толщины, соответственно для крупной, средней и мелкой фракции, мм;

$\sigma_k, \sigma_c, \sigma_m$ - среднее квадратическое отклонение толщины, соответственно для крупной, средней и мелкой фракции, мм;

K_k, K_c, K_m - массовая доля (в %) соответственно крупной, средней и мелкой фракции в сортируемом ворохе.

Процесс сортирования сопровождается перемещением клубней, трением их друг о друга и поверхности рабочих органов. Различают несколько видов трения: трение скольжения, трение качения и трение опрокидывания. Трение опрокидывания по опытным данным больше трения качения. Это трение появляется, когда клубень поворачивается под воздействием движущей силы вдоль своей большей оси. Каждый вид трения характеризуется коэффициентами или соответствующими углами трения. Коэффициенты и углы трения качения во всех случаях меньше коэффициентов и углов трения скольжения. Численные значения коэффициентов и углов трения зависят от материала поверхности, с которым соприкасаются клубни, а также от крупности клубней. Чем крупнее клубни, тем большим

коэффициентом или углом трения они характеризуются. Это объясняется тем, что от мелких клубней они отличаются менее гладкой поверхностью и менее круглой формой.

Разница коэффициентов и углов трения, мелких и крупных клубней незначительна и не может служить исходным параметром для разделения клубней по крупности. Однако ее можно использовать как сопутствующий фактор в совокупности с другими, чтобы в большей мере придать процессу сортирования закономерную направленность.

Клубни картофеля обладают упругими свойствами, т.е. способностью восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешних сил. По данным Сысуева В.А., Алешкина А.В. и Кормщикова А.Д. модуль упругости клубней картофеля (при сжатии) составляет 3,9...6,9 МПа, предел прочности при сжатии - 1,18...1,96 МПа, максимальное относительное сжатие - 25...30%. В работе Верещагина Н.И. и Пшеченкова К.А. [1] говорится, что предел прочности семенных клубней составляет 0,45...0,55 МПа. Клубни обладают упругими свойствами в пределах допустимых деформаций. Вопросами упругих ударов и упругих деформаций клубней занимались многие авторы. Из работ этих авторов следует, что удары клубней, высоту и скорость их падения следует ограничивать в пределах упругой деформации, иначе они получают повреждения. Упругость клубня характеризуется коэффициентом восстановления скорости K_B , а также относительной упругой деформацией, выраженной в процентах и определяемой отношением величины деформации клубня Δd к первоначальному его размеру d

$$\lambda = (\Delta d/d) * 100\%.$$

Формула, применяемая для расчетов, получена в результате несложных преобразований, и имеет следующий вид

$$K_B = \sqrt{\frac{h}{H}},$$

где H – высота падения клубня, м;

h – высота отскока клубня после удара, м.

В пределах упругой деформации повреждения клубней не происходят. При уборке, осенней транспортировке и сортировании картофеля механические повреждения достигают 30...90 % [5], при этом одной из первостепенных задач при механизации работ должна считаться борьба за ограничение деформации клубней в пределах упругости. Установлено, что в процессе уборки и сортирования преобладают динамические нагрузки [8;9]. В этом случае возможно нанесение клубням ударов, вызывающих деформации за пределами упругости. При частично упругом ударе часть энергии идет на восстановление скорости, а часть вызывает повреждение ткани. Табачук В. И., исследуя удар клубня о металлическую плиту, установил, что повреждение клубня начинается при поглощении им энергии $E = 0,08...0,18$ Н-м.

Если кинетическую энергию, поглощаемую клубнем в момент удара о массивное твердое неподвижное тело, выразить через его массу и скорость, то количество поглощенной энергии, идущее на повреждение клубня, можно определить по формуле

$$E = \frac{m v^2}{2} (1 - K_B^2),$$

где m – масса клубня картофеля, кг;

v – скорость удара, м/с;

K_B – коэффициент восстановления скорости.

Энергия поглощается клубнем без последствий только до определенных ее значений, сверх которых идет разрушение клеток - повреждение мякоти. Поэтому при уборке, транспортировке и сортировании картофеля повреждения достигают 30...90 %, это говорит о том, что необходимо совершенствовать механизацию работ и предотвращать деформацию клубней свыше зон упругости.

Анализ формулы показывает, что при прочих равных условиях сильнее повреждаются клубни крупных фракции, что подтверждается опытными данными [13;15]. Повреждение мякоти начинается при поглощении энергии более 0,08. ..0,18 Дж.

Из этих условий устанавливается допустимая скорость движения клубней $u_{доп}$ и допустимая высота падения $A_{доп}$, которые составляют: $u_{доп} < 1$ м/с; $A_{доп} < 0,3$ м [14]. Эти замечания относятся к случаю центрального удара клубня, но в реальных установках клубень может испытывать касательные удары о различные элементы рабочих органов. Касательная сила удара зависит от коэффициента трения клубня о материал рабочего органа и от нормальной составляющей силы удара. Эта касательная сила может вызвать повреждения наружной поверхности (обдир кожуры, вырыв мякоти), поэтому ее также надо ограничивать, применяя не просто эластичные материалы, гасящие ударные взаимодействия, но и обладающие малыми коэффициентами трения. Каспарова С.А. и др. установили, что замена металлических голых и обрешеченных прутков полыми резиновыми прутками различных диаметров значительно уменьшает количество сильных повреждений. Таким образом, есть основания полагать, что использование результатов этих исследований в рабочих органах сортировальных машин поможет уменьшить повреждения клубней. Проблему механизации уборки и послеуборочной обработки картофеля следует решать комплексно, в неразрывной связи с агротехникой возделывания этой культуры и ее селекции. При этом необходимо добиваться, чтобы кожура клубней, достигших зрелости, обладала более высокими прочностными свойствами.

Свойства клубней картофеля непостоянны во времени. Они изменяются по мере хранения в связи с жизнедеятельностью самого клубня, что требуется учитывать при разработке машин и технологического процесса обработки картофеля.

Классификация признаков и устройств для разделения клубней на фракции

По принятой в России классификации машины для сортирования клубней картофеля различают по типу рабочих органов: транспортерного типа; с вращающимися валиками; с плоскими решетками; с цилиндрическими решетками; с различной комбинацией рабочих органов [8].

Классификация рабочих органов представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 - Классификация рабочих органов для сортирования картофеля.

Рабочие органы картофелесортировальных машин следует различать:

а) в зависимости от последовательности, выделения фракций на рабочие органы с последовательным и параллельным сортированием;

б) в зависимости от количества фракций, на которые сортируют картофель одним рабочим органом, на двух-, трех- и многофракционные;

в) в зависимости от признака, который выбран для сортирования, на рабочие органы, разделяющие клубни по толщине, ширине или сочетанию размеров, а также по объему.

В основном клубни картофеля разделяют на 3...4 фракции. Сортировать клубни можно в разной последовательности. Если на сортирующей поверхности из потока последовательно выделяются вначале мелкие клубни, затем на следующем ее участке средние и т.д., то такой процесс сортирования называют последовательным.

Процесс, при котором вначале выделяются крупные клубни, а затем разделяются средние и мелкие, называют параллельным сортированием. Крупные клубни, выделенные в начальный период сортирования, оказываются менее поврежденными. Их масса составляет в среднем около 50% в массе картофеля, поступающего на обработку, и отсутствие такого количества клубней при разделении мелкой и средней фракции значительно разгружает участок рабочего органа с малыми просветами. Это позволяет повысить производительность сортировок.

Исследования различных сортирующих рабочих органов показали, что при параллельном выделении фракций удельная производительность повышается на 25...40% практически при той же точности сортирования.

Поэтому рабочие органы, сортирующие картофель в последовательности от крупного к мелкому, являются наиболее выгодными с точки зрения совершенства технологического процесса.

В зависимости от выбранного линейного размера для сортирования клубня применяют различные типы рабочих органов. На рисунке 4 приведена классификация рабочих органов для сортирования клубней по линейным размерам.

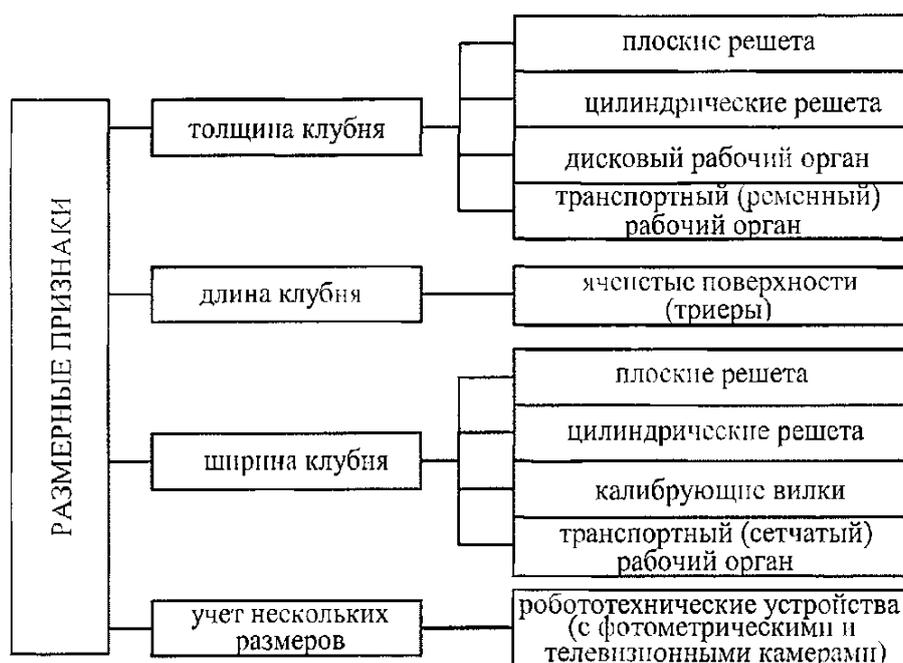


Рисунок 4 - Классификация рабочих органов для сортирования картофеля на фракции по линейным размерам клубней.

В настоящее время сортирование производится преимущественно по линейным размерам. Существуют следующие виды сортировок: ремённая, роликовая, грохотная, барабанная и фотометрическая. Все перечисленные виды сортировок имеют ряд недостатков, поэтому актуальным является постоянное совершенствование методов сортирования, конструкций сортировочных машин, а также внедрение процесса очистки сырья от примесей одновременно с сортированием. Важным фактором является также универсализация машины, то есть возможность применения ее для сортировки различных корнеклубнеплодов, овощей и фруктов.

Сортирующие рабочие органы барабанного типа широко используются в сельском хозяйстве [7].

По способу передвижения сортируемого картофеля по рабочей поверхности барабанные сортировки разделяют на две группы. Это барабаны с наклоном геометрической оси и барабаны со шнековыми направляющими лотками, расположенными внутри их. В барабанах обеих групп решета располагают последовательно или параллельно (концентрически) для последовательного и параллельного выделения фракций.

В барабанных сортировках клубни сортируются вращающимся цилиндрическим барабаном-решетом с диаметром 500... 1000 мм.

Основным преимуществом барабанных рабочих органов является простота конструкции и спокойная работа. В связи с тем, что разделение компонентов вороха на фракции в сортировках с цилиндрическими решетами осуществляется преимущественно по последовательному принципу, в работе участвуют лишь 12... 16% внутренней поверхности. Поэтому данные машины считают малопродуктивными. Крупные клубни, наиболее чувствительные к повреждениям, проходят наибольший путь в процессе технологической обработки, что влияет на качество сортирования не в лучшую сторону. Найденные новые технические решения [4] дают возможность повысить коэффициент использования площади рабочей поверхности, уменьшить повреждаемость клубней и открывают новые направления по созданию барабанных сортировок.

Результаты и обсуждение. Наиболее распространенными являются конструкции барабанных сортировок, разделяющие клубни картофеля по последовательному принципу. Одна из таких конструкций приведена на рисунке 5 [3].

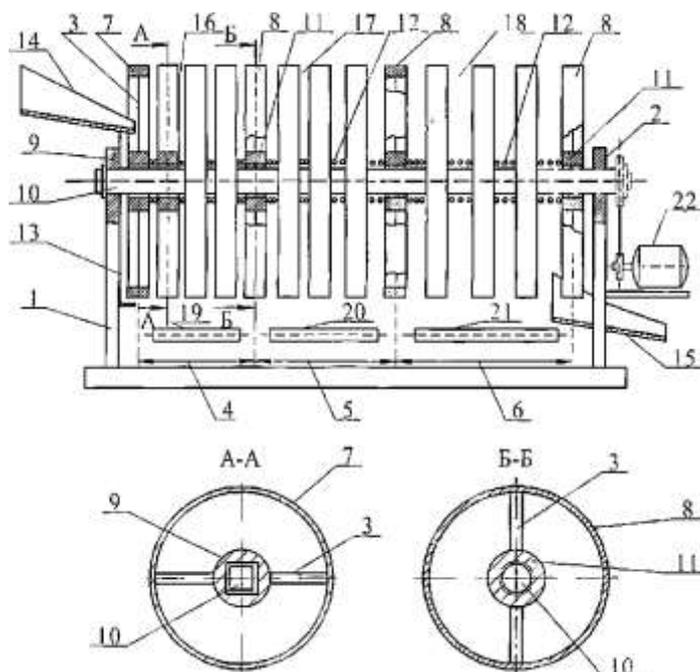


Рисунок 5 - Устройство для очистки и сортировки картофеля:

- 1,2-стойки; 3-барабан; 4,5,6-секции; 7,8-кольца; 9-ступица; 10-вал; 11-ступица; 12-пружина; 13-кожух; 14-бункер загрузочный; 15-лоток выгрузной; 16,17,18-зазоры между кольцами; 19,20,21-выгрузные транспортёры; 22-мотор-редуктор.

Машина для очистки и разделения клубней картофеля на фракции содержит стойки 1 и 2, на которых смонтирован барабан 3. Барабан 3 выполнен из трех отдельных секций 4, 5 и 6, каждая из которых состоит из набора колец 7. Между отделениями установлены кольца 8, которые отделяют секции друг от друга. Кольца 7 ступицами 9 посажены на вал 10, который на этих участках имеет отличное от круга поперечное сечение, например, квадратное.

Ступицы 11 отделяющих колец 8 выполнены с резьбой и установлены на участках вала 10, на которых также выполнена резьба. Между кольцами 7 и 8 установлены распорные пружины 12, которые разделяют кольца между собой. К стойке 1 жестко прикреплен кожух 13, который предотвращает выпадение клубней.

В состав установки входит загрузочный бункер 14 и выгрузной лоток 15. Зазор 16 между кольцами в первой, со стороны загрузочного лотка, секции 4 меньше, чем зазор 17 между аналогичными кольцами в следующей секции 5, а зазор 18 в секции 6 больше, чем зазор 17. Под барабаном 3 по количеству секций установлены выгрузные транспортеры 19, 20 и 21, с помощью которых отводятся примеси, или транспортируются клубни картофеля соответствующей фракции. Механизм привода барабана 3 выполнен в виде мотор-редуктора 22. При работе устройства в каждой секции 4, 5 и 6, вращением кольца 8, устанавливаются зазоры, соответствующие размерам клубней каждой фракции. При этом в первой секции 4 устанавливаются зазоры для прохода мелких клубней. Соответственно в секции 5 отделяются средние и в секции 6 крупные клубни картофеля. Каждая фракция поступает соответственно на транспортеры 19, 20, 21 и транспортируется ими.

Устройство имеет ряд недостатков: способ продвижения продукта внутри рабочего органа; высокая вероятность повреждений клубней картофеля, особенно самой ценной - крупной фракции, так как она отделяется в последнюю очередь, применение в конструкции спиц также повышает повреждаемость клубней; невысокий процент использования рабочей поверхности, так как она состоит из колец, что, безусловно, снижает эффективность работы установки.

Частично эти недостатки устранены в следующей конструкции, показанной на рисунке 1.6. Это также барабанный сепаратор, рабочий орган которого установлен наклонно [1].

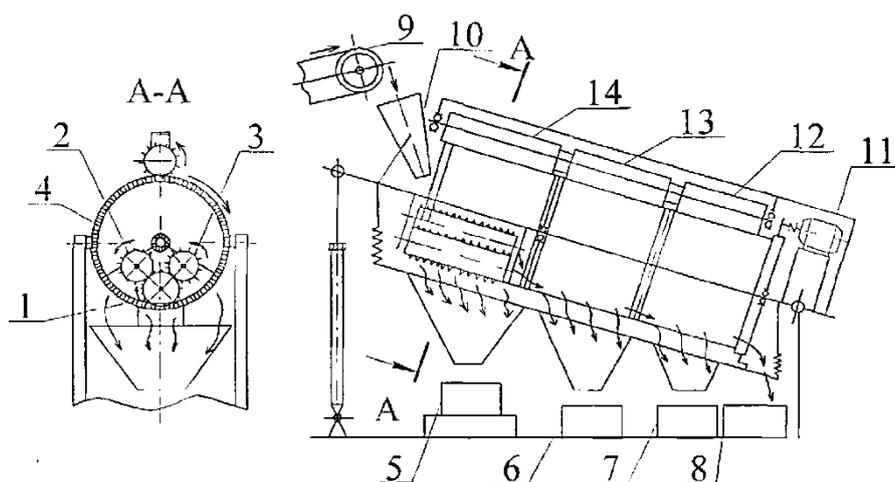


Рисунок 6 – Сепарирующая машина для клубней картофеля:

1,2,3-баллоны; 4-цилиндрическое решето; 5,6,7,8-бункеры; 9-транспортёр; 10-загрузочный бункер; 11-электродвигатель; 12,13,14-баллоны с пальчиковой поверхностью

Сепарирующая машина для клубней картофеля содержит верхние баллоны 2 и 3, установленные над баллоном 1. Все баллоны выполнены с цилиндрической пальчиковой

поверхностью и расположены у загрузочного бункера, с образованием лотка из баллонов. Клубни картофеля с примесями подаются транспортером 9 в загрузочный бункер 10, из которого выходят на поверхность образованную баллонами. Вследствие их наклона и вращения клубни картофеля попадают в область наибольшего сближения баллонов, которыми и захватываются. Упавшие на решетку примеси частично проваливаются и продавливаются пальцами баллона, попадая в бункер 5. Очищенные клубни картофеля продолжают перемещаться по решетке до попадания в соответствующие по размеру ячей для средних, мелких и крупных клубней картофеля и попадают в бункеры соответственно 6, 7 и 8.

Цилиндрическое решето 4 вращается посредством электродвигателя 11. Баллоны с пальчиковой поверхностью 12, 13 и 14 используются для очистки забивающихся отверстий.

Данное устройство разделяет ворох картофеля в последовательности от мелкого к крупному, в результате чего производительность сортирования низкая, а повреждаемость высокая, особенно у крупных клубней.

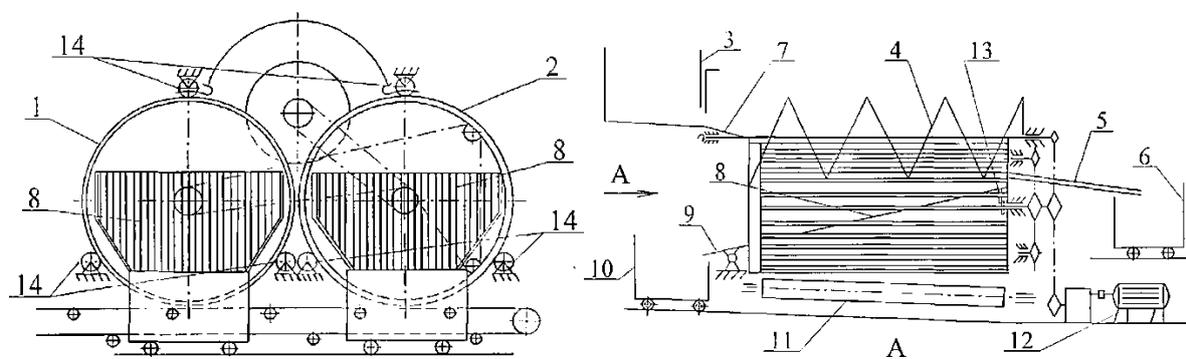


Рисунок 7 - Устройство для очистки и сортировки картофеля:

1,2-барабаны; 3-загрузочный бункер; 4-шнек; 5,7,9-лоток; 6,10-приёмный бункер; 8-вибрирующие скатные лотки; 11-ленточный транспортёр; 12-электродвигатель; 13-цепная передача; 14-ролики

Устройство для очистки и сортировки клубней картофеля содержит первый прутковый барабан, шнек, второй прутковый барабан и механизм их привода. Движение второго барабана обратного относительно первого. Шнек расположен в верхнем межбарабанном пространстве, причем, внутри каждого из барабанов установлены решетчатые скатные лотки, связанные с приводом.

Принцип работы устройства следующий. Ворох картофеля из загрузочного бункера 3 через лоток 7 поступает на рабочую поверхность устройства, образованную поверхностями барабанов 1 и 2, вращающимися в противоположные стороны. Барабаны расположены на роликах 14. Ворох продвигается по рабочей поверхности посредством шнека 4.

При этом мелкие клубни картофеля вместе с примесями проваливаются внутрь барабана, а крупные, двигаясь по рабочей поверхности, очищаются, и в итоге сходят по лотку 5 в приемный бункер 6. Мелкие клубни и примеси попадают на вибрирующие решетчатые скатные лотки, расположенные внутри барабана 8. Вибрация осуществляется за счет того, что лотки связаны с приводом посредством передачи 13. Примеси проваливаются в ячейки лотков и попадают на ленточный транспортер 11, которым они выгружаются. Мелкие клубни продвигаются под действием силы тяжести по скатным лоткам, и сходят по лотку 9 в приемный бункер 10.

Недостатками этой конструкции являются: значительная громоздкость, высокая повреждаемость клубней рабочим органом, ворох картофеля разделяется только на две фракции.

Барабанная сортировка. Устройство, приведенное на рисунке 1.8, содержит два последовательно размещенных на общей оси вращения барабана, наклоненных к горизонтальной плоскости.

Каждый барабан имеет несущие кольца 1 и диск 2. По окружности колец 1 имеется множество отверстий, в которые вставлены стальные обрезиненные прутки 3. Четыре накрест размещенных прутка прикрепленные к кольцам 1 и образуют каркас барабана. Остальные прутки 3 вставлены в отверстия и фиксируются с помощью шайб и шплинтов.

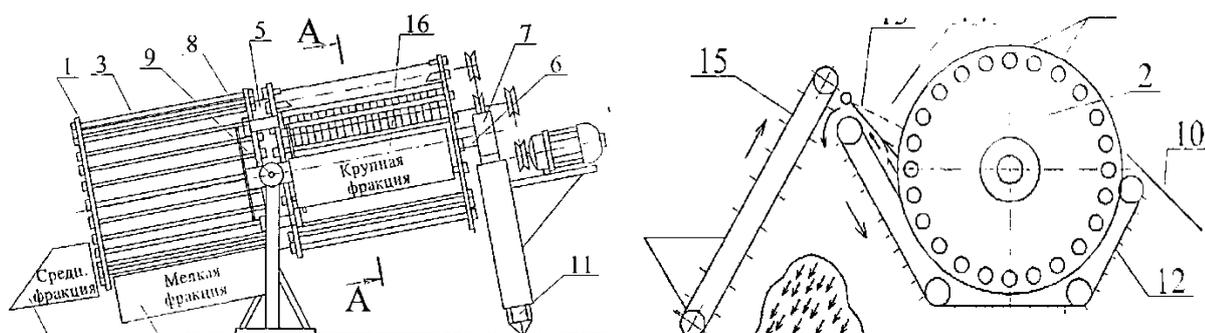


Рисунок 8 - Устройство для очистки и сортировки корнеклубнеплодов:

- 1-кольцо; 2-диск; 3-пруток; 4-регулирующие отверстия; 5-перемычка; 6,9-цапфы; 8-ролик;
10,13,16-лоток; 11-винтовая пара; 12-ленточный транспортёр; 14-приёмная камера;
15-транспортёр-питатель

На кольцах 1 и диске 2 имеются свободные отверстия 4 для регулирования расстояния между прутками. На верхнем (приемном) барабане прутки расставлены реже, чем на нижнем (консольном) барабане. Передний конец верхнего барабана с помощью цапфы 6, прикрепленного к диску 2, опирается на подшипник 7. В средней части сортировки кольца 1 соединяются жестко цилиндрической перемычкой 5.

Кольца 1 опираются на два нижних ролика и поддерживаются двумя верхними роликами 8. Оси роликов закреплены на рамке. Рамка с помощью двух цапф 9 (с той и другой стороны) шарнирно установлена на раме машины. Передние стойки рамы на нижнем конце имеют винтовую пару 11, с помощью которой изменяется их высота и вследствие этого угол наклона барабанов к горизонту. С нижней стороны верхний редкопрутковый барабан охвачен ленточным транспортером 12. Устройство работает следующим образом. Клубни картофеля транспортером (питателем- дозатором) 15 подаются в приемную камеру 14, образованную лотком 13 и наружной поверхностью верхнего барабана. Доза подачи клубней должна быть такой, чтобы в приемной камере 14 скапливалась некоторая часть клубней.

Порция клубней, находящаяся в приемной камере 14, создает постоянное давление (подпор) на поверхность верхнего редкопруткового барабана. В этих условиях клубни в приемной камере 14 под воздействием прутков барабана и естественного подпора находятся в непрерывном движении. Вследствие этого клубни, имеющие размеры меньше величины просвета между прутками, легко проходят вовнутрь барабана, а крупные клубни отбираются прутками и переносятся на лоток 16.

Поскольку ось вращения барабана наклонена относительно горизонтальной плоскости, при каждом опускании вниз клубни перемещаются также вдоль оси вращения барабана. При этом клубни интенсивно перемешиваются, что способствует отделению от них налипшей почвы. Почвенные примеси подхватываются рифленой поверхностью транспортера и выносятся наружу. По мере движения вдоль оси вращения масса клубней поступает на

внутреннюю поверхность нижнего барабана. Мелкие клубни проваливаются через просветы между прутками и поступают на лоток 17, а клубни средних размеров сходят с конца барабана на лоток 18.

Недостатком этой конструкции является то, что траектория движения компонентов обрабатываемого материала внутри барабана не совпадает с направлением сортирующих щелей, вследствие чего на короткой длине барабана невозможно добиться высокой точности сортирования

К числу достоинств можно отнести конструктивное решение, суть которого в том, что транспортер выполняя несколько функций одновременно: при помощи него приводится в движение барабан, он же производит очистку поверхности барабана от налипших примесей и почвы.

Выводы.

На основании проведенного анализа признаков разделения, рабочих органов и устройств для сортирования можно сделать выводы:

В качестве сортирующих следует выбирать устройства с щелевыми отверстиями, так как пропускная способность их наиболее высокая.

Наибольшую производительность имеют рабочие органы роторного типа.

Наибольшее предпочтение следует отдавать параллельному способу разделения клубней картофеля на фракции, так как при этом увеличивается производительность сортировки и качество ее работы.

Рабочие органы должны иметь стабильный размер отверстий, чтобы процесс сортирования не нарушался.

При создании сортировок для картофеля необходимо ориентироваться на сортирующие устройства с минимальными размерами рабочих поверхностей, работающих с меньшими затратами энергии, что позволяет снижать повреждения клубней картофеля и экономить средства при эксплуатации.

При сравнении известных сортирующих рабочих органов нами установлено, что совершенствование процесса сортирования картофеля возможно на основе такого устройства, в котором сочетаются положительные признаки известных устройств. Наиболее перспективными являются барабанные сортирующие рабочие органы, так как сочетают достоинства сортировок роторного типа со щелевыми отверстиями и стабильно сохраняющие размеры щелей между витками.

Однако влияние ряда факторов на процесс сортирования роторно-винтовым устройством изучен недостаточно. Не исследовано влияние винтовой навивки сортирующей поверхности в сочетании с другими факторами на точность сортирования и производительность, не известно при этом, каков уровень повреждаемости клубней.

Учитывая вышеизложенные предпосылки для создания новых рабочих органов и необходимость изыскания их рациональных параметров, была определена цель. Целью исследований является обоснование параметров и режима работы сортировки клубней картофеля роторно-винтового типа путём совершенствования сортировального устройства роторного типа.

Гипотезой улучшения процесса сортирования послужило то, что в начальный момент из вороха выделяются наиболее крупные клубни, при этом увеличивается пропускная способность установки и снижается количество повреждений картофеля [8; 14]. Барабан установки вместе совместно с ротором приводится от одного электродвигателя, в результате сортировка работает спокойно. Ротор непрерывно подаёт картофель на сортирующий барабан. Щелевые отверстия располагаются по направлению движения компонентов обрабатываемого материала, в результате точность сортирования увеличивается при сравнительно короткой длине барабана [16]. В соответствии с вышесказанным были поставлены следующие задачи исследования:

разработать модель сортировки роторно-винтового типа с возможностью регулирования управляемыми факторами процесса сортирования;

теоретически обосновать условия взаимодействия клубня с рабочим органом, позволяющих исключить повреждения клубней или свести их к минимуму;

выявить зависимости параметра оптимизации от существенных факторов процесса сортирования и режима работы роторно-винтовой сортировки;

проверить эффективность работы роторно-винтовой сортировки для картофеля в производственных условиях;

обосновать технико-экономическую целесообразность использования роторной машины для сортировки клубней картофеля.

Благодарность.

Выражаю благодарность своему научному руководителю Молдажанову Айдар Кадыржановичу за ценные советы при планировании и руководстве исследованием и рекомендации по оформлению статьи.

Также следует предоставить благодарность за оказанную помощь в исследовании научного проекта, преподавателей Кулмахамбетова Акмарал Токтаналиевну и Азизова Азимжана Адуррахимовича.

Список литературы

1. Верещагин, Н.И. Комплексная механизация возделывания уборки и хранения картофеля / Н.И. Верещагин, К.А. Пшеченков. - М.: Колос, 1977. - 325 с.
2. Верещагин, Н.И. Уборка картофеля в сложных условиях / Н.И. Верещагин, К.А. Пшеченков. - М.: Колос, 1965. - 265 с.
3. ГОСТ 23493-79. Картофель. Термины и определения. - М: Изд-во стандартов, 1980. – 6 с.
4. ГОСТ 26545-85. Картофель свежий продовольственный, реализуемый в розничной торговой сети. — М.: Изд-во стандартов, 1988. - 6 с.
5. ГОСТ 26832-80. Картофель свежий для переработки на продукты питания. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 4 с.
6. ГОСТ 7176-85. Картофель свежий продовольственный, заготавливаемый и поставляемый. - М.: Изд-во стандартов, 1998. - 5 с.
7. Верещагин, Н.И. Рабочие органы машин для возделывания, уборки и сортирования картофеля / Н.И. Верещагин, К.А. Пшеченков, В.С. Герасимов. - М.: Колос, 1983.-208 с.
8. Гребенюк, И.А. О выборе рабочих органов для сортирования картофеля / И.А. Гребенюк, О.И. Гребенюк // Сб. научных работ. Саратовский с.-х. Институт. - 1978.-№117. - С.66-71.
9. Долгов, А.И. Сортирование корнеклубнеплодов по форме и массе с помощью оптико-электронных средств / А.И. Долгов, В.Б. Герасименко // Техника в сельском хозяйстве. -1988. —№3- С. 44-45.
10. Иванов, А.Г. Структурно-параметрический синтез и анализ механизмов грохотных калибрующих машин: дис. ... канд. техн. наук / А.Г. Иванов. - Ижевск, 2005.-117 с.
11. Каламин, А.И. Машины для сортирования картофеля / А.И. Каламин. - М.: Машгиз, 1961. - 84 с.
12. Кириенко, Ю.И. Изыскание и исследование рабочего органа для сортирования картофеля с целью повышения основных показателей процесса сортирования: дис. ... канд. техн. наук / Ю.И. Кириенко. - М., 1978.-212 с.
13. Колчин, Н.Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля / Н.Н. Колчин, А.И. Орцис // Тракторы и сельхозмашины, 1987. - №5. - С. 34-35.

14. Останин, Р.И. Параметры и режимы работы дисково-ленточного устройства для повышения эффективности сортирования картофеля на фракции: дис. ... канд. техн. наук / Р.И. Останин. - Ленинград-Пушкин, 1985. - 224 с.

15. Юрасов, В.С. Разработка и обоснование параметров барабанной картофелесортировки: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.С. Юрасов. - Чебоксары, 2004. - 19 с.

16. Пат. №2194380 РФ, МКИЗ А 01 D33/08 Устройство для очистки и сортировки корнеклубнеплодов и фруктов / Л.М. Максимов, П.Л. Максимов, С.П. Игнатьев (РФ). - 2001102203/13; Заявлено 24.01.2001; Опубл. 20.12.2002, Бюл. №35. - 4 с.

References

1. Vereshcagin, N.Y., Pshechenkov, K.A. (1977). *Komplexnaya mehanizatsiya vozdelvaniya uborky u hranenya kartofelya* [Complex mechanization of potato cultivation harvesting and storage]. Moscow: Kolos [in Russian].

2. Vereshcagin, N.Y., Pshechenkov, K.A. (1965). *Uborka kartofelya v slozhnih uslovyah* [Potato harvesting in difficult conditions]. Moscow: Kolos [in Russian].

3. GOST 23943-79 (1980). *Kartofel. Termyni y opredeleniya* [Potato. Terms and definitions]. Moscow: Publ. Standartds [in Russian].

4. GOST 26545-85 (1988). *Kartofel svezhyi prodovolstvennyi, realizuemyi v roznuchnoi torgovoi sety*[Fresh food potatoes sold in a retail trade network]. Moscow: Publ.Standards

5. GOST 26832-80 (1991). *Kartofel svezhui dly pererabotky na produkti pytanya* [Fresh potatoes for processing for food]. Moscow:

6. GOST 7176-85 (1998). *Kartofel svezhyi prodovolstvennyi, zagotavlenniy y postavlyaemyi* [Fresh food potatoes, harvested and supplied].

7. Vereshchagin, N.I., (1983). *Rabochiye organy mashin dlya vozdelvaniya, uborki i sortirovaniya kartofelya* [Working bodies of machines for cultivation, harvesting and sorting of potatoes]. M.: Kolos.

8. Grebenyuk, I.A., (1978). *O vybore rabochikh organov dlya sortirovaniya kartofelya* [On the choice of working bodies for sorting potatoes]. Sat. scientific works. Saratov agricultural Institute

9. Dolgov, A.I., (1988). *Sortirovaniye korneklubneplodov po forme i masse s pomoshch'yu optiko-elektronnykh* [Sorting of root and tuber crops by shape and mass using optical-electronic means]. Technics in agriculture.

10. Ivanov, A.G., (2005). *Strukturno-parametricheskiiy sintez i analiz mekhanizmov grokhotnykh kalibruyushchikh mashin* [Structural and parametric synthesis and analysis of the mechanisms of screening calibrating machines]. Izhevsk.

11. Kalamina, A.I., (1961). *Mashiny dlya sortirovaniya kartofelya* [Potato sorting machines]. M.: Mashgiz.

12. Kiriyyenko, Yu.I., (1978). *Izyskaniye i issledovaniye rabochego organa dlya sortirovaniya kartofelya s tsel'yu povysheniya osnovnykh pokazateley protsessa sortirovaniya* [Search and research of a working body for sorting potatoes in order to improve the main indicators of the sorting process]. M.

13. Kolchin, N.N., (1987). *Kompleksy mashin i oborudovaniya dlya posleuborochnoy obrabotki kartofelya* [Complexes of machines and equipment for post-harvest processing of potatoes]. Orsis: Tractors and agricultural machines.

14. Ostanin, R.I., (1985). *Parametry i rezhimy raboty diskovo-lentochnogo ustroystva dlya povysheniya effektivnosti sortirovaniya kartofelya na fraktsii* [Parameters and operating modes of a disk-belt device to improve the efficiency of sorting potatoes into fractions]. Leningrad-Pushkin.

15. Yurasov, V.S., (2004). *Razrabotka i obosnovaniye parametrov barabannoy kartofelesortirovki* [Development and justification of the parameters of drum potato sorting]. Cheboksary.

16. L.M. Maksimov, P.L. Maksimov, SP. Ignat'yev (RF). - 2001102203/13; Pat. №2194380 RF, МКІЗ А 01 D33/08 Ustroystvo dlya ochistki i sortirovki korneklubneplodov i fruktov [08 Device for cleaning and sorting roots and tubers and fruits] Zayavleno 24.01.2001; Opubl. 20.12.2002, Byul. №35. - 4 s.

Д.Е. Джакуфов^{1}, А.Қ. Молдажанов¹, А.Т. Құлмахамбетова¹, А.А. Азизов¹*

*¹Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті
(Алматы қ, Қазақстан), jakufov.d@mail.ru**

КАРТОПТЫ СҰРЫПТАУҒА АРНАЛҒАН РОТОРЛЫ МАШИНАНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН НЕГІЗДЕУ

Аңдатпа.

Ғылыми-зерттеу жұмысымының пәні ауылшаруашылық өнімдерін роторлы сұрыптау машинасының параметрлері мен жұмыс режимдері. Зерттеу нысаны роторлы-бұрандалы құрылғымен картопты сұрыптаудың технологиялық процесі.

Бұл жұмыстың мақсаты ротор түріндегі сұрыптау құрылғысын жақсарту арқылы ротор-бұрандалы типтегі картоп түйнектерін сұрыптаудың параметрлері мен жұмыс режимін негіздеу.

Теориялық зерттеулер картоп түйнектерінің роторлы-бұрандалы сұрыптау құрылғысымен олардың қозғалысы процесінде өзара әрекеттесуін математикалық және механикалық модельдеу әдістеріне негізделген. Эксперименттік зерттеулер көпфакторлы эксперименттерді жоспарлау әдісімен орындалды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы келесідей:

- картопты сұрыптайтын айналмалы бұрандалы машинаның құрылымдық және технологиялық схемасы негізделген;

- аналитикалық тәуелділіктер орнатылды, сұрыптау машинасының технологиялық параметрлері мен беруші жұмыс органының (ротор-коректендіргіштің) жұмыс режимі арасында байланыс орнатылды;

- сапалы оңтайландыру параметрі бойынша сұрыптау процесінің математикалық моделі алынды (сұрыптау дәлдігі);

- картопқа арналған роторлы-бұрандалы сұрыптау машинасының оңтайлы параметрлері мен жұмыс режимдері анықталды, олар барабанның салыстырмалы түрде қысқа ұзындығымен және процестің энергия сыйымдылығын төмендетумен ұтымды сұрыптау дәлдігін қамтамасыз етеді.

Диссертациядағы ғылыми ережелер мен тұжырымдар жобалық ұйымдар қолдана алатын картопқа арналған роторлы-бұрандалы сұрыптау құрылғысының негізгі құрылымдық параметрлерін негіздеуге мүмкіндік береді.

Кілттік сөздер: картоп, фракция, технологиялық процесс, құрылымдық-технологиялық схема, сұрыптайтын жұмыс органы.

D.E. Dzhakufov^{1*}, A.K. Moldazhanov¹, A.T. Kulmakhambetova¹, A.A. Azizov¹

*¹Kazakh National Agrarian Research University
(Almaty, Kazakhstan), jakufov.d@mail.ru**

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE ROTARY POTATO SORTING MACHINE

Annotation.

The subject of my research work is the parameters and operating modes of a rotary machine for sorting agricultural products. The object of the study is the technological process of sorting potatoes with a rotary-screw device.

The purpose of this work is to substantiate the parameters and operating mode of sorting potato tubers of the rotary-screw type by improving the sorting device of the rotary type to increase the specific productivity and sorting accuracy.

Theoretical studies were based on methods of mathematical and mechanical modeling of the interaction of potato tubers with a rotary-screw sorting device in the process of their movement. The experimental studies were carried out by the method of planning multifactorial experiments.

The scientific novelty of the work is as follows:

- the design and technological scheme of a rotary-screw machine sorting potatoes is justified;
- analytical dependencies are established, the connection between the technological parameters of the sorting machine and the mode of operation of the feeding working body (rotor-feeder) is established;
- a mathematical model of the sorting process according to the qualitative optimization parameter (sorting accuracy) is obtained;
- the optimal parameters and operating modes of a rotary-screw sorting machine for potatoes have been determined, ensuring rational sorting accuracy with a relatively short drum length and reducing the energy intensity of the process.

The scientific provisions and conclusions contained in the dissertation allow us to substantiate the main design parameters of a rotary-screw sorting device for potatoes, which can be used by design organizations.

Key words: potato, fraction, technological process, structural and technological scheme, sorting working body.