

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ НА КАЧЕСТВО РАЗДЕЛЕНИЯ НА ФРАКЦИИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ КАРТОФЕЛЕСОРТИРОВАЛЬНЫХ МАШИН

INFLUENCE OF THE SHAPE OF POTATO TUBERS ON THE QUALITY OF SEPARATION INTO FRACTIONS BY THE WORKING BODIES OF POTATO SORTING MACHINES

Н.Н. РОМАНИУК¹, к.т.н.
В.Н. ЕДНАЧ¹, к.т.н.
С.А. ВОЙНАШ²

¹ Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь
² ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия, val-e@mail.ru, sergey_voi@mail.ru

N.N. ROMANYUK¹, PhD in Engineering
V.N. YEDNACH¹, PhD in Engineering
S.A. VOYNASH²

¹ Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus
² Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia, val-e@mail.ru, sergey_voi@mail.ru

Многие производители сельскохозяйственной продукции сталкиваются с проблемами сортирования клубней картофеля плоской и овальной форм на размерные фракции роликовыми сортировальными поверхностями. В статье рассматривается влияние формы клубней картофеля на скорость их ориентации относительно калибрующих отверстий и, как следствие, на показатели производительности машин и качества выполняемого процесса. Целью исследования является определение причин повреждения клубней при сортировке и способы их устранения. Обоснована взаимосвязь кинематических параметров роликовых поверхностей картофелесортировальных машин и формы клубней, позволяющая снизить повреждения и повысить качество сортировки картофеля на фракции. Для определения взаимосвязи формы клубней и кинематических параметров роликовой поверхности проведен ряд экспериментов. В первом эксперименте определялось количество клубней, которые пройдут сквозь калибрующую щель за определенное время при различных передаточных отношениях в приводе роликов калибрующей поверхности. Во втором эксперименте находилось время, за которое определенное количество клубней различной формы пройдут сквозь калибрующую поверхность. На основании проведенных исследований представлены графики экспериментальных зависимостей количества клубней толщиной 43 мм, прошедших в калибрующий зазор между роликами 42 мм за время 5 с, от соотношения окружных скоростей между роликами и графики зависимости изменения времени прохождения группы клубней толщиной 40 и 42 мм через щель между роликами шириной 42 мм от соотношения окружных скоростей между роликами. На основании проведенных исследований установлено, что соотношение окружных скоростей соседних роликов, образующих калибрующую щель, оказывает существенное влияние на качество разделения клубней на фракции и является причиной нанесения им повреждений, связанных с деформацией. Представленный анализ позволяет оценить влияние формы клубня на качество разделения клубней роликовыми калибрующими поверхностями картофелесортировальных машин, а также указывает пути совершенствования конструкций техники для доработки картофеля после уборки и перед продажей.

Ключевые слова: клубни, картофель, сортировка, картофелесортировальная машина, повреждения, качество разделения, фракции, роликовая поверхность.

Many agricultural producers are faced with problems of sorting flat and oval potato tubers into size fractions using roller sorting surfaces. The paper studies the influence of the shape of potato tubers on the speed of their orientation relative to the calibrating holes, and, as a consequence, the performance indicators of machines and the quality of the process performed. The aim of the study is to determine the causes of damage to tubers during sorting and ways to eliminate them. There was substantiated the relationship between the kinematic parameters of the roller surfaces of potato sorting machines and the shape of tubers, which makes it possible to reduce damage and improve the quality of sorting potatoes into fractions. A number of experiments were carried out to determine the relationship between the shape of tubers and the kinematic parameters of the roller surface. In the first experiment, the number of tubers that will pass through the calibrating slot in a certain time was determined at different gear ratios in the drive of the rollers of the calibrating surface. In the second experiment, the time was found for a certain number of tubers of various shapes to pass through the calibrating surface. The graphs of the experimental dependences of the number of tubers of 43 mm thick passed into the calibrating gap between the rollers of 42 mm in 5 seconds on the ratio of the peripheral speeds between the rollers are presented. And the graphs of the dependence of the change in the time of passage of a group of tubers with a thickness of 40 and 42 mm through the gap between the rollers with a width 42 mm from the ratio of the peripheral speeds between the rollers are given. Based on the carried out studies, it was found that the ratio of the peripheral speeds of adjacent rollers, forming the calibrating slot, have a significant effect on the quality of the separation of tubers into fractions and are the cause of damage influenced by deformation. The presented analysis makes it possible to assess the influence of the shape of the tuber on the quality of the separation of tubers by roller calibrating surfaces of potato sorting machines, and also indicates the ways of improving the design of equipment for the finalization of potatoes after harvest and before sale.

Keywords: tubers, potatoes, sorting, potato sorting machine, damage, separation quality, fractions, roller surface.

Введение

Картофель является одной из основных сельскохозяйственных культур, производимых на территории Республики Беларусь. Ежегодный объем его производства составляет от 13 до 15 % на территории стран СНГ и от 4 до 6 % – мирового производства. Беларусь поставляет на рынки соседних стран около 500 тыс. т продовольственного картофеля и 250 тыс. т семенного [1]. Несмотря на это, согласно официальной статистике, производство картофеля в сельскохозяйственных организациях республики неуклонно снижается. Так, за последнее десятилетие максимальный пик производства картофеля сельскохозяйственными предприятиями республики составлял 1240,2 тыс. т в 2012 г., а уже в 2018 г. он снизился до 598,6 тыс. т; при этом на приусадебных участках населения картофель неуклонно занимает лидирующие позиции (в 2018 г. он составил 5266,5 тыс.т).

Снижение производства картофеля сельскохозяйственными организациями республики вызвано отходом от применения этой овощной культуры в качестве кормовой, а также высокая трудоемкостью ее производства, которая прежде всего связана с послеуборочной обработкой и хранением.

Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 гг. [2] предусмотрено наращивание объемов производства картофеля путем совершенствования технологий производства, увеличения урожайности и существенного снижения потерь, большая часть которых имеет место быть при уборке, послеуборочной доработке и хранении.

Современные тенденции производства картофеля по европейским технологиям направлены на увеличение его урожайности. В Германии в 2017 г. урожайность картофеля составляла 468 ц/га, в Польше – 278,5 ц/га [3], в то время как в сельскохозяйственных организациях Беларуси – 291 ц/га [1]. Несмотря на это, в республике остро стоит вопрос сохранности выращенной продукции, ее качественными показателями и товарным видом.

Сортирование картофеля направлено на получение нескольких фракций, отличающихся по массе, размеру или другим признакам. Обычно выделяют примеси растительные, почвенные включения и три основные фракции картофеля: крупную (столовую), семенную и мелкую.

Современные технологии, применяемые в сельскохозяйственном производстве, используют целый ряд признаков, по которым производят сортирование продукции. Эффективность разделения картофеля на фракции зависит от физико-механических свойств клубней, к которым следует отнести: форму, геометрические размеры, массу, плотность, коэффициенты трения по поверхностям, упругость, цвет и отражающую способность, проницаемость рентгеновскими лучами.

При разделении картофеля на размерные фракции необходимо учитывать, что наиболее точно определенную фракцию характеризуют масса или объем клубня. На практике определение массы и объема каждого отдельного клубня произвести весьма трудоемко, нетехнологично и занимает много времени.

В высокопроизводительных машинах наибольшее распространение получили роликовые калибрующие поверхности, использующие при разделении клубней на фракции их линейные размеры.

При закладке на хранение клубней разного размера скважность массы уменьшается из-за заполнения промежутков между крупными клубнями, картофелем более мелкой фракцией. Кроме того, с течением времени клубни картофеля деформируются, плотнее прилекая друг к другу, тем самым снижая скважность. В целом эти факторы ухудшают возможность достаточной вентиляции картофельной массы в процессе хранения, что ведет к потерям. Как правило, потери при хранении характеризуются усыханием клубней, прорастанием в насыпях и гниением [5, 17].

Существенное влияние на реализационную стоимость картофеля оказывает внешний вид клубней, основными показателями качества товара являются выравненность фракционного состава, отсутствие загрязнений и повреждений картофеля. Данные показатели обеспечиваются посредством операции сортирования.

Целью исследований

Определение причин повреждения клубней при сортировке и способы их устранения.

Обзор литературы

В процессе разделения картофеля на фракции клубни получают механические повреждения, которые можно разделить на внешние

и внутренние. Внешние повреждения (содранная кожура, трещины, вырывы мякоти, раздавленные, разрезанные клубни) возникают в результате защемления при взаимодействии клубней с рабочими органами калибрующих поверхностей, связанные со скоростными режимами работы, а внутренние (потемнение мякоти) – из-за высоких напряжений и деформаций, возникающих в процессе прохождения клубня через калибровочное отверстие [8].

Степень механических повреждений и потерь при хранении зависит от типа применяемой технологии послеуборочной доработки. По усредненным данным [22], при поточной технологии послеуборочной доработки, повреждения клубней достигают 66,4 %, а потери за 8 месяцев хранения – 32,2 %; при перевалочной – повреждения 31,3 %, потери 18,7 %. Наименьшие повреждения наблюдались при прямоточной технологии – 20,2 % при потерях 8,3 %.

Исследованиями [9] установлено, что потери при хранении могут превышать 20 %, и в значительной степени их уровень зависит от поврежденности закладываемого на хранение картофеля.

Необходимо отметить, что неповрежденные клубни за весь период хранения теряют до 5 % от своей массы, клубни с содранной кожурой – до 11 %, а клубни с вырывами и разрезами – от 15 до 19 % [21].

Задержка всходов поврежденного семенного картофеля составляет от 8 до 18 дней в зависимости от их размеров, при этом количество невзошедших клубней достигает 35 % и более, травмирование семенного картофеля приводит также к снижению будущего урожая от 15 до 25 % [10, 14].

Уровень и тип повреждений клубней в значительной степени зависит от сорта картофеля и его физико-механических свойств, температуры окружающей среды, влажности, особенностей технологического процесса сортировки, и взаимодействия с рабочими органами [16].

Влияние низких температур на уровень повреждений клубней картофеля наблюдается при температурах ниже 10 °С. Снижение температуры на 1 °С приводит к увеличению уровня повреждений на 5 % [9]. Вместе с тем при 10 °С сопротивляемость клубней к возбудителям болезней значительно снижается в результате замедления процесса восста-

новления, а при 5 °С заживление травм практически прекращается [9].

Исследованиями Т.И. Валуевой установлено, что снижение прочности кожуры и мякоти наблюдается у клубней картофеля, убранных при влажности почвы более 27 %. Снижение стойкости клубней к нагрузкам вызвано увеличением тургора клеток картофеля [6].

Вместе с тем уровень повреждений картофеля при сортировке ограничивается требованиями ТКП 277-2010 (02150) и для семенного картофеля не должен превышать 2 %, для продовольственного – 5 % (ГОСТ 7176-85) [13].

С целью снижения уровня повреждения картофеля рабочими органами машин для уборки и послеуборочной доработки клубней в технологии предусмотрены такие операции, как уборка ботвы и лечебный период. Уборка ботвы картофеля до основной уборки способствует созреванию и увеличению прочности кожуры [25]; лечебный период – временное хранение от 10 до 14 дней – способствует просушиванию, увеличению прочности и выявлению больных клубней, после чего проводят сортировку картофеля с последующей закладкой на хранение [11, 12].

Применение той или иной технологии определяется условиями хозяйствования. Из анализа результатов исследований видно, что потери картофеля при хранении напрямую зависят от степени его повреждения. Снижение повреждения картофеля возможно при условии, что конструктивные и кинематические параметры рабочих органов калибрующих поверхностей сортировальных машин будут использоваться с учетом особенностей разных сортов клубней картофеля [23].

Следует отметить, что основным фактором, влияющим на качественные показатели процесса разделения клубней картофеля на фракции, а также его повреждение рабочими органами сортировальных машин, является взаимодействие поверхности клубня с гранями калибрующих ячеек. Поскольку необходимым условием точности разделения является прохождение клубня в калибрующий зазор, размер которого близок к размеру клубня, то повреждения от взаимодействия неизбежны. Вместе с тем, степень этих повреждений зависит от количества клубней, размеры которых близки к размерам калибрующих отверстий и формы самих клубней.

А.А. Герасимов [4] предложил выделять формы клубней по коэффициенту формы K_ϕ :

$$K_\phi = \frac{l_k}{\sqrt{b_k \cdot c_k}}, \quad (1)$$

где l_k – длина клубня, м; b_k – ширина клубня, м; c_k – толщина, м.

Согласно классификации А.А. Герасимова, выделяют следующие формы клубня: округлая K_ϕ менее 1,20; округло-овальная – K_ϕ от 1,20 до 1,30; овальная – K_ϕ от 1,30 до 1,40; удлинено-овальная – K_ϕ от 1,40 до 1,50; удлиненная K_ϕ более 1,50.

Материалы и методы

Форма клубня влияет на процесс его взаимодействия с рабочими органами, ориентацию картофеля относительно калибрующих отверстий, траекторию движения по калибрующим поверхностям. К примеру, при качении клубня ось его вращения ориентируется параллельно оси рабочих органов и перпендикулярно направлению движения. Этот эффект широко используется на роликовых калибрующих поверхностях для ориентации клубней относительно щелей и калибрующих отверстий.

Проведенный анализ работы роликовых калибрующих поверхностей позволил определить связь кинематических параметров роликовой поверхности и формы клубня [7, 24, 27, 28].

На рис. 1 представлена схема прохождения клубня эллиптической формы между двумя роликами круглого сечения, центры которых обозначены O_1 и O_2 ; радиусы роликов – R_1 и R_2 , зазор между роликами – C , в поперечном сечении толщина клубня – $2r_c$, ширина – $2r_b$.

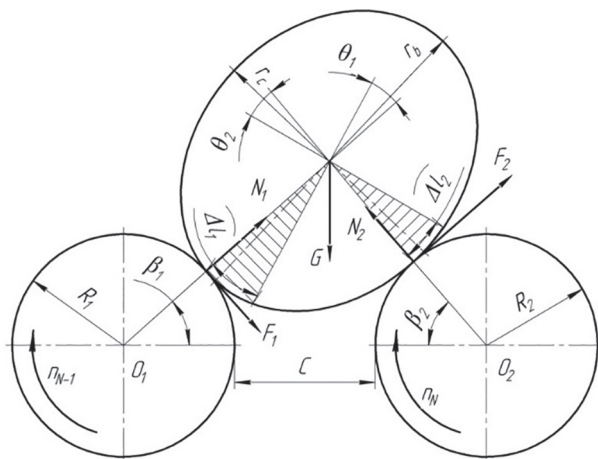


Рис. 1. Схема взаимодействия клубня овальной формы с роликами

Рассматривая движение клубня (рис. 1), было установлено, что при повороте его на угол θ относительно точек контакта с роликами путь, пройденный клубнем относительно каждого из роликов, отличается тем больше, чем больше разница между толщиной и шириной клубня. Поскольку ролики вращаются с одинаковой частотой и имеют одинаковый размер, то очевидно, что клубень, поворачиваясь относительно каждого из роликов на угол $\theta_1 = \theta_2$, будет проскальзывать относительно одного из них, а следовательно, защемления и проскальзывания клубней неизбежны. В свою очередь значительные повреждения при движении по роликам клубень получает при защемлении.

Анализ движения клубня эллиптической формы по роликовой поверхности показал, что защемление клубня можно избежать, если учесть соотношение размеров клубня в поперечном сечении. Так, пути Δl_1 и Δl_2 , которые проходит клубень относительно каждого из роликов, смещение центра масс, веса клубня G и изменение сил нормальных реакций N_1 , N_2 и сил трения F_1 и F_2 позволило получить соотношение скоростей двух соседних роликов, при котором клубни не защемляются роликами. Увеличение скорости каждого последующего ролика $V_{\text{вых}}$, при которой клубни будут выкатываться из впадины между роликами, определено по выражению:

$$V_{\text{вых}} = 2 \cdot \pi \cdot n_{N-1} \cdot R_{N-1} \frac{(r_b - r_c)}{r_c}, \quad (2)$$

где n_{N-1} – частота вращения предыдущего ролика, с^{-1} ; R_{N-1} – радиус предыдущего ролика, м; r_b – радиус клубня по ширине, м; r_c – радиус клубня по толщине, м.

Учитывая окружные скорости первого V_1 , второго V_2 роликов и разность скоростей $V_{\text{вых}}$, определено передаточное отношение между роликами [5]:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{c_k}{b_k}, \quad (2)$$

где n_1 – частота вращения первого ролика, мин^{-1} ; n_2 – частота вращения второго ролика, мин^{-1} ; V_1 – окружная скорость поверхности первого ролика, мин^{-1} ; V_2 – окружная скорость поверхности второго ролика, мин^{-1} .

Полученное выражение (2) позволяет учитывать форму клубней и производить настройку машины в зависимости от особенностей

сорта картофеля и его геометрических параметров. В процессе калибрования роликовые поверхности ориентируют клубни картофеля таким образом, что их длина – наибольшая ось вращения – располагается параллельно роликам, следовательно, на процесс калибрования оказывает минимальное влияние. На основании вышеизложенного коэффициент формы K_p , определяемый как отношение ширины клубня к его толщине, будет достаточным для калибрующих поверхностей роликового типа:

$$K_p = c_k / b_k. \quad (3)$$

Используя выражение (3) и учитывая классификацию А.А. Герасимова, при проведении исследований на сортах картофеля «скарб», «ласунак», «адрета» нами выделено пять основных форм поперечного сечения клубней (см. табл.).

Таблица

Коэффициент формы клубня
в поперечном сечении [24, 26]

Форма клубня	Коэффициент формы, K_p
Округлая	более 0,9
Округло-овальная	от 0,89 до 0,8
Овальная	от 0,79 до 0,7
Удлиненно-овальная	от 0,69 до 0,61
Удлиненная (плоская)	менее 0,6

*Методика определения условия
защемления клубней картофеля
роликами калибрующей поверхности*

Для подтверждения теоретических предположений и аналитических выражений необходимо установить связь между формой клубня, передаточным отношением окружных скоростей роликов и количеством клубней, проходящих через калибрующий зазор за определенный период времени.

Для определения оптимальных кинематических режимов работы калибрующей поверхности в зависимости от формы клубней и, соответственно, сорта калибруемого картофеля исследовалось защемление клубня, размеры которого близки к размерам калибрующей щели.

Для исследований использовались группы клубней картофеля округлой, овальной и удлиненной формы. Диаметр гладких калибрующих роликов составляет 32 мм, зазор между роликами – 42 мм, размер клубней, по которому производили калибрование – толщина

(40, 42 и 43 мм). Калибрующая поверхность располагалась горизонтально, передаточное отношение между роликами варьировалось от 0,9 до 0,6 с интервалом в 0,15. Регулировка передаточного отношения осуществлялась изменением передаточного числа механизма привода роликов. Минимальная частота вращения первого ролика составляла $1,33 \text{ с}^{-1}$. В качестве контролируемой переменной использовали время нахождения клубня на роликовой поверхности. Учитывая производительность роликовых поверхностей, максимальное время экспериментов принято 5 с [7].

Исследование разбили на две части. Первая часть исследований проводилась с группой клубней одинаковой формы и толщиной 43 мм, что на 1 мм больше калибрующего зазора. В данном случае фиксировали количество клубней, которые прошли сквозь калибрующую поверхность за время 5 с. Интервал времени был определен из условия, что скорость движения клубней по поверхности 0,2 м/с, при длине поверхности 1 м.

Во второй части проводили опыты с группой клубней 25 шт. одинаковой формы и контролируемым размером (ширина 40 мм), что меньше зазора между роликами на 2 мм и шириной 42 мм и равно калибрующему зазору между роликами, и фиксировали время полного прохода всей группы клубней. В данном случае время позволило определить оптимальную длину рабочей поверхности при определенной скорости движения, позволяющей клубням пройти сквозь калибрующий зазор.

Оценка адекватности полученных результатов проводилась статистическими методами оценки.

Результаты и обсуждение

Исследование определения условия защемления клубней картофеля толщиной 43 мм осуществлялось на роликовой поверхности, образованной параллельно расположенными цилиндрическими роликам с калибрующим зазором 42 мм (рис. 2).

На всех графиках (рис. 2) прослеживается параболическая зависимость количества клубней, прошедших сквозь поверхность, от соотношения окружных скоростей между роликами. При соотношении, близком к 0,9, количество клубней удлиненной и овальной формы, прошедших сквозь поверхность за время 5 с стремилось к максимуму. Данный факт объ-

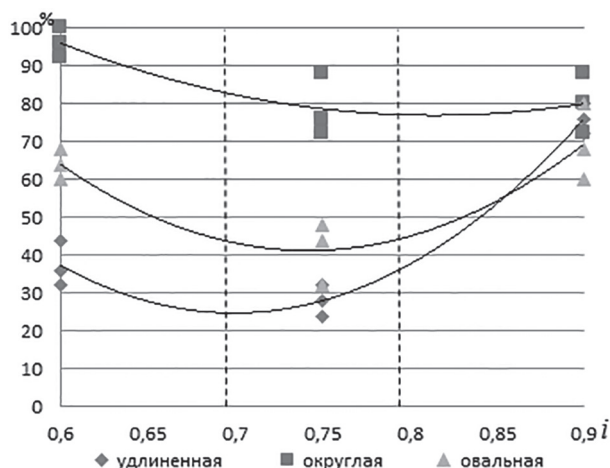


Рис. 2. Экспериментальные зависимости количества клубней толщиной 43 мм, прошедших в калибрующий зазор между роликами 42 мм за время, равное 5 с, от отношения окружных скоростей между роликами

ясняется тем, что клубни удлиненной и овальной формы затаскивались роликами в калибрующий зазор. Соответственно, точность разделения клубней овальной и удлиненной фракций ухудшилась с приближением отношения окружных скоростей между роликами к 1, а количество деформированных клубней увеличилось. Вместе с тем, изменение соотношения к 0,75 для клубней овальной формы является оптимальным и позволяет увеличить точность разделения, что полностью соответствует теоретическим предпосылкам. Однако для клубней удлиненной формы расчетные значения соответствуют не в полной мере, а точнее только правая часть графика с оптимумом в районе 0,7, в то время как теоретически оптимум должен находиться на уровне 0,6. Это объясняется тем, что высокая разность в скоростях роликов приводит к проскальзыванию клубня, и он начинает двигаться по менее быстрой поверхности ролика.

Результаты эксперимента для клубней округлой формы значительно не изменяются и не удовлетворяют теоретическим предпосылкам в полной мере. Прежде всего это связано с неидеальностью формы самих клубней, поскольку даже незначительные выступы компенсировали разницу в размере между щелью и клубнем в 1 мм.

На основании проведенных экспериментов нами установлено, что соотношение окружных скоростей соседних роликов, образующих калибрующую щель, оказывают существенное влияние на качество разделения клубней

на фракции и являются причиной нанесения им повреждений, связанных с деформацией.

Вторая часть исследований проводилась с клубнями округлой и овальной форм, размеры которых соответствовали размерам калибрующей щели или были меньше ее на 2 мм. На рис. 3 представлены графики зависимости изменения времени прохождения группы клубней толщиной 40 и 42 мм через щель между роликами шириной 42 мм от соотношения окружных скоростей между роликами.

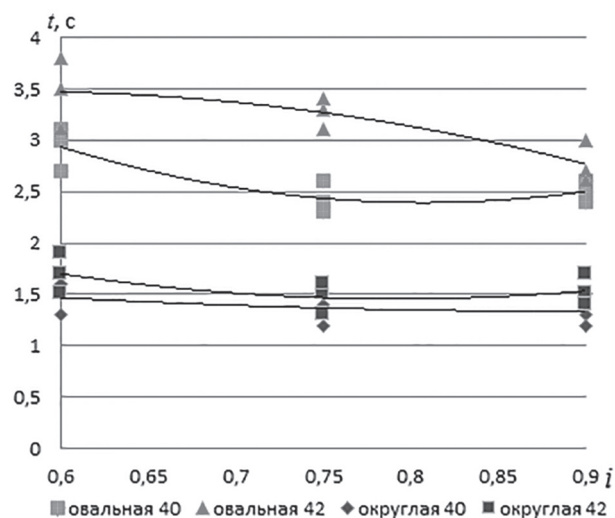


Рис. 3. Графики зависимости изменения времени прохождения группы клубней толщиной 40 и 42 мм через щель между роликами шириной 42 мм от соотношения окружных скоростей между роликами

Время прохождения группы клубней через калибрующую щель характеризует вероятность того, успеет ли клубень «просеяться» от начала до конца роликовой калибрующей поверхности.

Из рис. 3 очевидно, что клубни округлой формы лучше проходят через щели поверхности, кроме того, размер клубней практически не влияет на время сепарации.

В отличие от округлых, клубни удлиненной формы дольше ориентируются относительно калибрующего отверстия, и значительную роль здесь оказывает форма. Поскольку благодаря большей разнице между толщиной и шириной в поперечном сечении клубни проскакивают оптимальное положение и не успевают пройти в щель, это, прежде всего, связано с закономерностями движения клубня между роликами, поскольку чем ближе размеры клубня к размерам калибрующей щели, тем дольше он вращается между ними.

С увеличением разности между окружными скоростями роликов время ориентации увеличивается. Учитывая то, что, согласно теоретическим исследованиям, оптимальным режимом для клубней овальной формы является интервал соотношения окружных скоростей между роликами от 0,7 до 0,79, результаты экспериментов полностью подтверждают теоретические предпосылки.

Заключение

Проведенные теоретические исследования и полученные аналитические выражения позволили установить взаимосвязь между формой поперечного сечения клубней картофеля и кинематическими параметрами роликовой калибрующей поверхности, а также основные формы клубней (округлую, овальную и плоскую) и соответствующие им передаточные соотношения окружных скоростей между роликами калибрующей поверхности, составившие 0,9, 0,75 и 0,6.

На основании результатов теоретических исследований и анализа литературных источников установлено, что причины повреждений (трещины, вырывы мякоти и раздавленные клубни) картофеля при сортировании на роликовых поверхностях связаны с деформацией клубней, получаемой в результате протаскивания их через калибрующую щель либо отверстие, размеры которых меньше размеров клубней. Причиной, вызывающей содранную кожуру клубня, является продолжительное его нахождение на калибрующей поверхности, а также защемление клубней роликами. Результаты экспериментальных исследований показали, что при соотношении окружных скоростей роликов на уровне 0,9, более 60 % клубней, размеры которых больше размеров калибрующей щели за время 5 секунд проходят сквозь калибрующую поверхность. При соотношении скоростей 0,75 количество клубней овальной формы сократилось до 40 %, а удлиненной – менее 30 %. На основании этого можно сделать вывод о влиянии соотношения окружных скоростей и формы клубней на их деформацию. Кроме того, установлено, что клубни округлой формы быстрее проходят сквозь калибрующую щель за время до 2 с, а клубни овальной формы могут находиться на поверхности более 3 с, чем ближе размеры калибрующей щели к размерам клубней, тем дольше продолжается процесс калибрования.

Таким образом, представленный анализ позволяет оценить влияние формы клубня на качество разделения картофеля роликовыми калибрующими поверхностями картофелесортировальных машин, а также показывает пути совершенствования техники для послеуборочной доработки картофеля, причины повреждения клубней рабочими органами роликового типа и способы их устранения.

При сортировке клубней картофеля необходимо учитывать особенности формы, соответствующей определенным сортам. Для клубней овальной и удлиненной формы необходимо изменять передаточное соотношение окружных скоростей между роликами калибрующей поверхности, а также удлинять зону выделения соответствующей фракции.

Литература

1. Особенности рынка картофеля в Республике Беларусь. URL: https://studbooks.net/1064911/agropromyshlennost/osobennosti_rynka_karto-felya_respublike_belarus (дата обращения 24.11.2019).
2. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 годы. URL: <http://www.msph.gov.by/programms/a868489390de4373.html> (дата обращения 22.09.2018).
3. ФАО Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций. URL: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC> (дата обращения 07.01.2020).
4. Герасимов А.А. Требования к машинам для картофелеводства на основе физико-механических свойств клубней // Основные направления совершенствования конструкции машин для возделывания и уборки картофеля: матер. всесоюз. совещания: ОНТИ, ВИСХОМ, М., 1974. С. 111–119.
5. Романюк Н.Н., Еднач В.Н., Агейчик В.А., Лакуня С.М. К вопросу разработки устройства для сортировки картофеля // Инженерія природокористування. Харків, 2019. № 15. С. 97–102.
6. Валуева Т.И. Повреждаемость клубней картофеля сорта Темп и лежкость при хранении в зависимости от срока сортирования // Картофелеводство и плодоовощеводство: сб. науч. тр.; БелНИИКПО. Вып. 3. Минск, 1978. С. 141–143.
7. Еднач В.Н. Повышение качества калибрования картофеля поверхностью с изменяющейся скоростью вращения роликов: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01; Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. Минск, 2018. 24 с.

8. Smolinskiy S.V. Analytical study workflow potato cossorting // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніката енергетика АПК. 2014. № 196-1. С. 185–190.
9. Журавлев В.М. Лежкость семенного картофеля в зависимости от способов уборки и сроков сортирования: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09. М., 1973. 24 с.
10. Зейрук В.Н., Глез В.М. От подготовки семенных клубней к посадке зависит урожай картофеля // Картофель и овощи. 2009. № 5. С. 10–11.
11. Bakhadirov G.A., Umarov B.T.U.L. Basics of calculation of certain parameters of the belt drive of the machine for sorting of potatoes // European science review. 2018. № 1–2. С. 48–50.
12. Potato in progress: science meets practice / A.J. Haverkort, P.C. Struik. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2005. 366 p.
13. ГОСТ 7176-85. Картофель свежий продовольственный, заготавливаемый и поставляемый. Термины и определения. Введ. 13.05.1985. М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. 5 с.
14. Кожушко Н.С. Влияние видов механических повреждений на лежкость картофеля // Картофельводство и плодовоовощеводство: науч. тр.; БелНИИКПО. Минск, 1976. Вып. 1. С. 28–34.
15. International year of the potato 2008. New light on a hidden treasure: an end-of-year review / Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009. 135 p.
16. Ламм М.И. Контактные повреждения клубней картофеля // Исследование и расчет технологических процессов корнеклубнеуборочных машин и их рабочих органов: тр. ВИСХОМ. М., 1969. Вып. 58. С. 290–311.
17. Strengthening potato value chains. Technical and policy options for developing countries / N. Cromme [et al.]; Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations: Common Fund for Commodities, 2010. 147 p.
18. Bondarchuk A.A. Scientific basis of potato seed farming in Ukraine [hoenix, 2018. 434 p. SortiTet] / A.A. Bondarchuk, S. zaS. Aiki; рец.: V.G. Mykahylov, N.S. Kozhushko; ed. M.Y. Molotsky. Kyiv: Png, grading, packing machines and complete equipment for potato processing. Greater quality for your business. URL: <http://www.unisorting.com/en/products/potato-sorting-grading-packing-machines/> (дата обращения 09.01.2020).
19. ТКП 277–2010(02150). Сельскохозяйственная техника. Машины для уборки и послеуборочной обработки картофеля. Порядок определения функциональных показателей. Введ. 17.12.10. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. 57 с.
20. Снежко В.Л. Лежкость картофеля в зависимости от послеуборочной сортировки и способа хранения // Картофель и овощи. 1976. № 10. С. 26–27.
21. Старовойтов В.И. Широкоярусные технологии и машины для возделывания картофеля // Техника и оборудование для села. 2004. № 11. С. 16–20.
22. Радишевский Г.А., Еднач В.Н. Выбор оптимальных параметров рабочих органов для сортирования картофеля // Агропанорама. Минск, 2008. № 2. С. 17–20.
23. Урамовский Ю.М., Биза Ю.С., Еднач В.Н., Комляч Д.И. К вопросу определения рабочих параметров роликовых сортировальных поверхностей // Агропанорама. Минск, 2013. № 3. С. 6–8.
24. Радишевский Г.А., Еднач В.Н., Белый С.Р., Гуриневич Н.П., Портянко Г.Н. Повышение эффективности работы приемной части картофелеуборочных машин // Агропанорама. Минск, 2014. № 2. С. 2–4.
25. Еднач В.Н., Бондаренко Д.Н., Бойко Т.В., Знов А.А. О некоторых факторах, влияющих на производительность поверхности картофелекалибрующих машин // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–24 июня 2017 г.; Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: В.П. Чеботарев [и др.]. Минск, 2017. С. 136–139.
26. Еднач В.Н., Дечко М.М., Бондаренко Д.Н. К вопросу качества калибрования картофеля // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–24 июня 2017 г.; Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: В.П. Чеботарев [и др.]. Минск, 2017. С. 140–143.
27. Еднач В.Н., Романюк Н.Н., Агейчик В.А., Лакутя С.М. Оригинальное устройство для сортировки клубнеплодов // Материалы I Национал. науч.-практ. конф. с международным участием «Инновации природообустройства и защиты окружающей среды», 23–24 января 2019 года; отв. редактор А.В. Русинов. Саратов: ООО Издательство «КУБиК», 2019. С. 507–511.
28. Романюк Н.Н., Еднач В.Н., Агейчик В.А., Лакутя С.М. Модернизация технического средства для сортировки клубнеплодов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Белагро-2019 «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического

сервиса в АПК», 6–7 июня 2019 года; редкол.: Н.Н. Романюк [и др.]. Минск: БГАТУ, 2019. С. 245–249.

References

1. Osobennosti rynka kartofelya v Respublike Belarus' [Features of the potato market in the Republic of Belarus]. URL: https://studbooks.net/1064911/agropromyshlennost/osobennosti_rynka_kartofelya_respublike_belarus. accessed: 24.11.2019.
2. Gosudarstvennaya programma razvitiya agrarnogo biznesa v Respublike Belarus' na 2016–2020 gody [State program for the development of agricultural business in the Republic of Belarus for 2016–2020]. URL: <http://www.mshp.gov.by/programmms/a868489390de4373.html>. accessed: 22.09.2018.
3. FAO Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaystvennaya organizatsiya ob'yedinennykh natsiy [The Food and Agriculture Organization of the United Nations]. URL: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC>. accessed: 07.01.2020.
4. Gerasimov A.A. Requirements for machinery for potato growing based on the physical and mechanical properties of tubers. Osnovnyye napravleniya sovershenstvovaniya konstruksii mashin dlya vozdel'yvaniya i uborki kartofelya: mater. Vsesoyuz. soveshchaniya. ONTI, VISKHOM [The main directions of improving the design of machinery for growing and harvesting potatoes: Materials of All-Union Meeting], Moscow, 1974, pp. 111–119 (in Russ.).
5. Romanyuk N.N., Yednach V.N., Ageychik V.A., Lakutya S.M. Development of a device for sorting potatoes. Inzheneriya prirodokoristuvannya. Kharkiv, 2019. No 15, pp. 97–102 (in Russ.).
6. Valuyeva T.I. Damage to potato tubers of the "Temp" potato cultivar and keeping its quality during storage, depending on the sorting period. Kartofelevodstvo i plodoovoshchevodstvo: sb. nauch. tr. BelNIIPKO. Vyp. 3. Minsk, 1978, pp. 141–143 (in Russ.).
7. Yednach V.N. Povysheniye kachestva kalibrovaniya kartofelya poverkhnost'yu s izmenyayushchey-sya skorost'yu vra-shcheniya rolikov: avtoref. dis... kand. tekhn. nauk [Improving the quality of calibration of potatoes by a surface with a variable speed of rotation of the rollers: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]: 05.20.01. Belarus. gos. agrar. tekhn. un-t. Minsk, 2018. 24 p.
8. Smolinskiy S.V. Analytical study of potatoes sorting work flow. Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya: Tekhnika ta yenergetika APK. 2014. No 196-1, pp. 185–190 (in Russ.).
9. Zhuravlev V.M. Lezhkost' semennogo kartofelya v zavisimosti ot sposobov uborki i srokov sortirovaniya: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk [Keeping quality of seed potatoes depending on harvesting methods and sorting time: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]: 06.01.09. Moscow, 1973. 24 p.
10. Zeyruk V.N., Glez V.M. The potato yield depends on the preparation of seed tubers for planting. Kartoffel' i ovoshchi. 2009. No 5, pp. 10–11 (in Russ.).
11. Bakhadirov G.A. Basics of calculation of certain parameters of the belt drive of the machine for sorting of potatoes / G.A.Bakhadiro., B.T.U.L Umarov // European science review. 2018. No 1–2, pp. 48–50.
12. Potato in progress: science meets practice [Text] / A.J. Haverkort, P.C. Struik. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2005. 366 p.
13. GOST 7176–85. Fresh food potatoes, procured and supplied. Terms and definitions: Vved. 13.05.1985. Moscow: Gos. komitet SSSR po standartam Publ., 1985. 5 p.
14. Kozhushko N.S. Influence of types of mechanical damage on keeping quality of potatoes. Kartofelevodstvo i plodoovoshchevodstvo: nauch. tr. BelNIIPKO. Minsk, 1976. Vyp. 1, pp. 28–34 (in Russ.).
15. International year of the potato 2008. New light on a hidden treasure [Text]: an end-of-year review / Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009. 135 p.
16. Lamm M.I. Contact damage to potato tubers. Issledovaniye i raschet tekhnologicheskikh protsessov korneklubneuborochnykh mashin i ikh rabochikh organov: tr. VISKHOM. Moscow, 1969. Vyp. 58, pp. 290–311 (in Russ.).
17. Strengthening potato value chains. Technical and policy options for developing countries [Text] / N. Cromme [et al.]; Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations: Common Fund for Commodities, 2010. 147 p.
18. Bondarchuk A.A. Scientific basis of potato seed farming in Ukraine [hoenix, 2018. 434 p. SortiTet] / A.A. Bondarchuk, S. zaS. Aiki; rets.: V.G. Mykahylov, N.S. Kozhushko; ed. M.Y. Molotsky. Kyiv: Png, graxding, packing machines and complete equipment for potato processing. Greater quality for your business. URL: <http://www.unisorting.com/en/products/potato-sorting-grading-packing-machines/>. accessed: 09.01.2020..
19. ТКР 277–2010(02150). Agricultural machinery. Machinery for harvesting and post-harvest processing of potatoes. The procedure for determining functional indicators. Vved. 17.12.10. Ministerstvo

- sel'skogo khozyaystva i prodovol'stviya Respubliki Belarus'. 57 p.
20. Snezhko V.L. Keeping quality of potatoes depending on post-harvest sorting and storage method. *Kartofel' i ovoshchi*. 1976. No 10, pp. 26–27 (in Russ.).
 21. Starovoytov V.I. Wide-row technologies and machinery for growing potatoes. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2004. No 11, pp. 16–20 (in Russ.).
 22. Radishevskiy G.A., Yednach V.N. Selection of the optimal parameters of working bodies for sorting potatoes. *Agropanorama*. Minsk, 2008. No 2, pp. 17–20 (in Russ.).
 23. Uramovskiy Yu.M., Biza Yu.S., Yednach V.N., Komlach D.I. Determination of operating parameters of roller sorting surfaces. *Agropanorama*. Minsk, 2013. No 3, pp. 6–8 (in Russ.).
 24. Radishevskiy G.A., Yednach V.N., Belyy S.R., Gurinovich N.P., Portyanko G.N. Improving the efficiency of the receiving part of potato harvesters. *Agropanorama*. Minsk, 2014. No 2, pp. 2–4 (in Russ.).
 25. Yednach V.N., Bondarenko D.N., Boyko T.V., Zenov A.A. Some factors affecting the surface performance of potato calibrating machines. *Tekhnicheskoye obespecheniye innovatsionnykh tekhnologiy v sel'skom khozyaystve: sb. nauch. statey Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 22–24 iyunya 2017 g.* [Technical support of innovative technologies in agriculture: Collection of Scientific Papers of International Scientific and Practical Conference, Minsk, June 22-24, 2017] *Belorus. gos. agrar. tekhn. un-t; redkol.: V.P. Chebotarev [i dr.]*. Minsk, 2017, pp. 136–139 (in Russ.).
 26. Yednach V.N., Dechko M.M., Bondarenko D.N. Potato sorting quality. *Tekhnicheskoye obespecheniye innovatsionnykh tekhnologiy v sel'skom khozyaystve: sb. nauch. statey Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 22–24 iyunya 2017 g.* [Technical support of innovative technologies in agriculture: Collection of Scientific Papers of International Scientific and Practical Conference, Minsk, June 22-24, 2017] *Belorus. gos. agrar. tekhn. un-t; redkol.: V.P. Chebotarev [i dr.]*. Minsk, 2017, pp. 140–143 (in Russ.).
 27. Yednach V.N., Romanyuk N.N., Ageychik V.A., Lakutya S.M. The original device for sorting tubers. *Materialy I Natsional. nauch.-praktich. konf. s mezhdunarodnym uchastiyem «Inno-vatsii prirodoobustroystva i zashchity okruzhayushchey sredy»*, 23–24 yanvarya 2019 goda [Materials of 1st National Scientific and Practical Conference with International Participation “Innovations in environmental engineering and environmental protection”, January 23-24, 2019] *otv. redaktor A.V. Rusinov*. Saratov: OOO Izdatel'stvo «KUBIK» Publ., 2019, pp. 507–511 (in Russ.).
 28. Romanyuk N.N., Yednach V.N., Ageychik V.A., Lakutya S.M. Modernization of technical means for sorting tubers. *Materialy Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. Belagro-2019 «Sovremennyye problemy osvoyeniya novoy tekhniki, tekhnologiy, organizatsii tekhnicheskogo servisa v APK»*, 6-7 iyunya 2019 goda [Materials of International Scientific and Practical Conference Belagro-2019 “Modern problems of mastering new equipment, technologies, organization of technical service in the agro-industrial complex”, June 6-7, 2019] *redkol.: N.N. Romanyuk [i dr.]*. Minsk: BGATU Publ., 2019, pp. 245–249 (in Russ.).